



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

**Patrones de distribución de escamados en el
Altiplano Mexicano con fines de conservación.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN BIODIVERSIDAD
Y CONSERVACIÓN

P R E S E N T A:

José Manuel Ocampo Salinas

DIRECTORA DE TESIS:

Dra. Irene Goyenechea Mayer Goyenechea

COMITÉ TUTOR

Dra. M. Dolores Casagrande

M. en C. Jesús M. Castillo Cerón

Dra. Norma L. Manríquez Moran

Mineral de la Reforma, Hidalgo.

2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
Institute of Basic Sciences and Engineering
Dirección
 Dean

Mineral de la Reforma, Hgo., a 9 de enero de 2018.

Número de control: ICBI-D/007/2018
 Asunto: Votos aprobatorios

M. en C. Julio César Leines Medécigo
Director de Administración Escolar

Por este conducto le comunico que después de revisar el trabajo titulado "Patrones de distribución de escamados en el Altiplano Mexicano con fines de conservación", que presenta el alumno de la Maestría en Ciencias en Biodiversidad y Conservación **Biól. José Manuel Ocampo Salinas**, el Comité Revisor de tesis ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Comité Revisor.

PRESIDENTE	Dra. Norma Leticia Manríquez Morán	
SECRETARIO	Dra. Maria Dolores Casagrande	
VOCAL	Dra. Irene Goyenechea Mayer-Goyenechea	
SUPLENTE	M. en C. Jesús Martín Castillo Cerón	

Sin otro particular, reitero a Usted la seguridad de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE
 "Amor, Orden y Progreso"

 DR. OSCAR RODOLFO SUÁREZ CASTILLO
 DIRECTOR DEL ICBI

Ciudad del Conocimiento
 Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5
 Colonia Carboneras
 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184
 Tel. +52 771 7172000 exts 2231, Fax 2109
 direccion_icbi@uaeh.edu.mx



www.uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Soledad Salinas y Edgar Ocampo por su gran aliento y cariño, por impulsarme a seguir adelante en mi formación como persona, académica y profesional, por brindarme su amor durante los buenos y malos momentos, por no dejarme solo, gracias por su gran herencia que me dejaron “el estudio”. Los amo papas.

A mi hermano Edgar, por ser un excelente hermano menor y que me ha apoyado en cada una de mis decisiones de vida y académicas, te quiero hermano.

A mi hermana Yamilla, por ser la consentida de la familia y a pesar de la distancia siempre me demostró su apoyo y amor para continuar con este sueño, te quiero hermanita.

A la Bióloga Liz Vega por apoyarme en cada paso y decisión que di durante mi estancia en la maestría, te amo bonita, gracias por todo.

A mis amigos que conocí durante los dos años que estuve en Pachuca y con los cuales pasamos todo tipo de experiencias desde fiestas y salidas a campo extremas, Iván, Jesús, Carlitos, Jaimito, Luis, Ferdinand, Dr. Fer, Marco, Emma, Mirsha, Daniela, Gustavo, Miguelon, Tocayo, Saul.

A Leonardo Fernández y Nallely Morales, que además de pasarme datos de distribución de lagartijas, también se convirtieron en grandes amigos que abrieron las puertas de su casa para poder realizar el examen de admisión en Pachuca.

A mis amigos en Argentina por brindarme hospedaje y pasar grandes momentos durante mi estancia en Tucumán, Nicolas, Ale, Marijo, Conti, Leti, Sofía.

A la Maestría en Ciencias en Biodiversidad y Conservación de la UAEH por el apoyo brindado durante el inicio, desarrollo y finalización de mis estudios.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante la realización de los estudios de maestría, sin la cual nada hubiera sido posible.

Agradezco profundamente a la Dra. Irene Goyenechea por darme la oportunidad de trabajar con ella. Gracias por la paciencia, por la oportunidad de cumplir mi sueño de estudiar un posgrado, por el conocimiento que me compartió dentro y fuera de clase, por la confianza, por su tiempo, pero sobre todo por ser una gran persona conmigo.

Agradezco a los miembros del comité: Dra. Norma Manríquez gracias por sus comentarios, aportaciones, consejos y apoyo tanto en mi proyecto de tesis como en mi estancia de la maestría. M. en C. Jesús Castillo por todos sus aportaciones y buenos consejos en mi proyecto. Dra. Dolores Casagrande por invitarme a realizar una estancia de investigación a su laboratorio donde pudimos compartir conocimientos académicos además de que fue parte fundamental para este proyecto de tesis.

Agradezco también a la Dra. Szumik y al Dr. Goloboff por el apoyo brindado en mi análisis de endemidad durante mi estancia en Tucumán, Argentina, además de compartir varias platicas acompañado de un buen café y un alfajor después de la comida.

También agradezco a las personas encargadas de las colecciones Nacionales e Internacionales por brindarme bases de datos (CIB-UAEH, CIDIIR-DURANGO; Colección de Anfibios y Reptiles del Estado de TAMAULIPAS-UANL), Laboratorio de Colecciones Científicas y Sistemática Molecular, UAZ; Colección Zoológica, UAA; Biodiversity Collections (University of Texas at El Paso), Herpetology Collection (University of Texas at Arlington).

Índice general

Resumen.....	i
Abstract.....	ii
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	3
2.1 Propuestas biogeográficas del Altiplano Mexicano.....	3
2.2 Análisis de endemidad.....	7
2.3 Efecto del uso de diferentes tamaños de celda en el AE.....	7
2.4 Importancia de los taxones superiores en el AE.....	8
2.5 Análisis de endemidad en México.....	9
2.6 Tiempos de divergencia en las Áreas de Endemismo.....	10
2.7 Riqueza específica de lagartijas en el Altiplano Mexicano.....	11
2.8 Áreas prioritarias para la conservación.....	12
3. Justificación.....	15
4. Objetivo General.....	16
4.1 Objetivos particulares.....	16
5. Métodos.....	17
5.1 Área de estudio.....	17
5.2 Obtención de registros.....	17
5.3 Análisis de Endemidad (tamaño de celda y taxones superiores).....	18
5.4 Áreas prioritarias para la conservación y análisis de discrepancias.....	20
5.5 Tiempos de divergencia.....	21
6. Resultados.....	22
6.1 Análisis de endemidad.....	22
6.2 Tamaño de celda 0.5°X0.5°.....	26
6.3 Tamaño de celda 1.0°X1.0°.....	28
6.4 Tamaño de celda 1.5°x1.5°.....	34
6.5 Taxones superiores.....	43
6.6 Áreas prioritarias para la conservación y análisis de discrepancias.....	43
6.7 Tiempos de divergencia.....	45
7. Discusión.....	47
7.1 Análisis de endemidad.....	47

7.2 Efecto del tamaño de celda.....	48
7.3 Taxones superiores.....	50
7.4 Áreas prioritarias para la conservación y análisis de discrepancias.....	51
7.5 Tiempos de divergencia	53
8. Conclusiones.....	55
9. Literatura Citada.....	56

Índice de figuras

Figura 1. Propuestas de regionalización para el Altiplano Mexicano.....	4-5
Figura 2. Número de áreas consenso recuperadas bajo diferente tamaño de celda.....	22
Figura 3. Número de áreas de endemismo identificadas en el AM.....	23
Figura 4. Áreas consenso 1-4 con tamaño de celda de 0.5 X 0.5 grados.....	27
Figura 5. Áreas consenso 5-8 con tamaño de celda de 1.0 X 1.0 grados.....	29
Figura 6. Áreas consenso 9-12 con tamaño de celda de 1.0 X 1.0 grados.....	31
Figura 7. Áreas consenso 13-17 con tamaño de celda de 1.0 X 1.0 grados.....	33
Figura 8. Áreas consenso 18-21 con tamaño de celda de 1.5 X 1.5 grados.....	35
Figura 9. Áreas consenso 22-25 con tamaño de celda de 1.5 X 1.5 grados.....	37
Figura 10. Áreas consenso 26-29 con tamaño de celda de 1.5 X 1.5 grados.....	39
Figura 11. Áreas consenso 30-32 con tamaño de celda de 1.5 X 1.5 grados.....	41
Figura 12. Áreas consenso 33-34 con tamaño de celda de 1.5 X 1.5 grados.....	42
Figura 13. Áreas consenso seleccionadas como áreas prioritarias para la conservación.....	44

Índice de cuadros

Cuadro 1. Eventos geológicos que sucedieron en el Altiplano Mexicano.....	6
Cuadro 2. Lista de las familias de lagartijas en el Altiplano Mexicano.....	11
Cuadro 3. ANP en el Altiplano Mexicano.....	13
Cuadro 4. Parámetros y radios de llenado (R. fill/R. ass)	19
Cuadro 5. Lista de las áreas de endemismo identificada en el análisis de endemividad con el nombre de los taxones que las sustentan.....	24-25
Cuadro 6. Áreas de endemismo seleccionadas para su conservación con los tiempos de divergencia de los taxones.....	46

Resumen

Un área de endemismo se refiere a la distribución congruente de al menos dos taxones que pueden o no estar relacionadas filogenéticamente. Las áreas de endemismo son la unidad básica en los estudios de biogeografía histórica. En este estudio se realizó un análisis de endemidad de las 9 familias de lagartijas que se distribuyen en el Altiplano Mexicano (AM) a través del programa VNDM/NDM. Se seleccionaron áreas para su conservación, posteriormente se compararon con las Áreas Naturales Protegidas (ANP) del AM con un análisis de discrepancias y finalmente se obtuvieron los tiempos de divergencia de los taxones que sustentan estas áreas de endemismo. Se identificaron 34 áreas de endemismo con tres tamaños de celda diferente (0.5° , 1.0° , 1.5°). Esto permitió proponer la división del Altiplano Mexicano en sur y norte y delimitar la extensión del AM hacia el sur de Estados Unidos incluyendo el sur de Arizona, el norte de Nuevo México y el oeste de Texas. El uso de taxones superiores a nivel de género (*Holbrookia*, *Uma* y *Xantusia*) durante el análisis de endemidad permitió delimitar de una mejor manera las áreas de endemismo. Se seleccionaron tres áreas de endemismo (AC $2_{0.5^\circ}$, AC $8_{1.0^\circ}$, AC $28_{1.5^\circ}$) para la conservación, que fueron las que presentaron el mayor valor de endemidad. El análisis de discrepancias mostró que el AC $2_{0.5^\circ}$ tuvo una congruencia parcial con la ANP de Mapimí. El AC $8_{1.0^\circ}$ mostró congruencia con las ANP del AM y el AC $28_{1.5^\circ}$ tuvo congruencia con 10 ANP del AM. Estas áreas de endemismo presentaron cinco tiempos de divergencia Pleistoceno, Plioceno Mioceno, Eoceno y Cretácico. Los tiempos de divergencia están relacionados con la ocurrencia de distintos eventos geológicos, fisiográficos y climáticos en el AM que modificaron la distribución de los taxones, los cuales provocaron su aislamiento en la provincia biogeográfica del Altiplano Mexicano y dieron origen a las áreas de endemismo actuales.

Abstract

An area of endemism refers to the congruent distribution of at least two taxa which may or may not be phylogenetically related. Areas of endemism are the basic unit in historical biogeographical studies. On this research I performed an endemicity analysis including the 9 lizards' families which are distributed in the Mexican Plateau (MP) using VNDM/NDM program. I selected areas for conservation, then I compared them with Protected Natural Areas (PNA) of the Mexican Plateau (MP) by a GAP analysis and finally we searched times of divergence of those taxa which sustain these areas of endemism. 34 areas of endemism were identified under three different cell sizes (0.5° , 1.0° , 1.5°). This allows me to propose the Mexican Plateau division in South and North and to delimit the extension of the MP towards southern United States including the south of Arizona, the north portion of New Mexico and the west of Texas. When using higher taxa from the genera *Holbrookia*, *Uma* and *Xantusia* during endemicity analysis allowed me to better delimit areas of endemism. I selected three areas of endemism for conservation ($AC_{2_{0.5^\circ}}$, $AC_{8_{1.0^\circ}}$, $AC_{28_{1.5^\circ}}$) which showed the highest endemicity values. The GAP analysis showed that $AC_{2_{0.5^\circ}}$ was partially congruent to Mapimí PNA. $AC_{8_{1.0^\circ}}$ coincided with Mexican plateau's PNA and $AC_{28_{1.5^\circ}}$ with 10 Mexican Plateau's PNA. These areas of endemism showed five times of divergence: Pleistocene, Pliocene Miocene, Eocene and Cretaceous, which can be related to the occurrence of different geological, physiographic and climatic events in the MP that modified taxa distribution which caused their isolation in this biogeographic province of the Mexican Plateau and gave origin to current areas of endemism.

1. Introducción.

La biogeografía es una disciplina que estudia los patrones de distribución de las especies en tiempo, espacio y forma. Esta disciplina también estudia si las especies se distribuyen de una manera aleatoria o si existe congruencia en su distribución (Nelson y Platnick, 1981; Espinosa-Organista et al. 2002; Morrone, 2001a, 2004a).

Un patrón es una regularidad que ocurre en la naturaleza, la cual permite establecer comparaciones (Morrone y Escalante, 2009). Los patrones biogeográficos son arreglos repetitivos de la distribución de los taxones en el espacio geográfico (Cracraft, 1994; Espinosa-Organista et al. 2002; Morrone, 2009; Morrone, 2004b; Morrone y Escalante, 2016). Estos patrones se han descrito por distintos autores desde el siglo XVIII (Buffon, 1761; Latreille, 1815, Cuvier, 1817; Humboldt, 1805, 1817; De Candolle, 1820, 1855). Existen patrones específicos que constituyen un valor particular en el enfoque de la biogeografía, como por ejemplo los patrones de riqueza de especies, patrones corológicos y patrones de homología espacial. Los patrones de homología espacial consisten en identificar si dos o más taxones diferentes son congruentes en su distribución e independientemente de sus capacidades dispersoras forman áreas de endemismo, lo que indicaría una posible historia en común (Morrone 2001b, 2004a, 2007, 2009). Estos patrones son estudiados por la biogeografía evolutiva (Morrone, 2009) que es una disciplina que integra información paleontológica, filogenética y espacial de las especies, con el objetivo de describir los patrones biogeográficos y evaluar los cambios históricos que comparten con otras especies (Morrone, 2009).

Un área de endemismo se refiere a la distribución congruente de al menos dos taxones que pueden o no estar relacionadas filogenéticamente (Cracraft, 1985; Platnick, 1991; Harold y Mooi, 1994; Morrone, 1994; Crisci et al. 2000; Szumik et al. 2002; Szumik et al. 2006; Casagrande y de Grosso, 2013).

A través del tiempo se han desarrollado diferentes métodos para identificar áreas de endemismo, tales como el Análisis de Parsimonia de Endemismos (PAE) (Rosen, 1988; Morrone, 1994), el Análisis de Endemicidad (AE) (Szumik et al. 2002; Szumik y Goloboff, 2004), el Análisis Cladístico de Distribución y Endemismo (CADE) (Porzecanski y Cracraft, 2005) y el análisis de Elementos Bióticos (EB) (Hausdorf y

Hennig, 2003). Los primeros dos métodos son los más empleados para determinar áreas de endemismo y se han aplicado con diferentes escalas espaciales y jerarquías taxonómicas (Domínguez et al. 2006; Ferrari et al. 2010; Aagesen et al. 2012; Weirauch et al. 2016). Existen estudios que han demostrado que el AE recupera mejores áreas de endemismo que el PAE (Carine et al. 2009; Escalante et al. 2009; Casagrande et al. 2012). Sin embargo, se sugiere que ambos métodos pueden ser utilizados como complemento para identificar las áreas de endemismo que permiten proponer esquemas de regionalización biogeográfica (Escalante, 2015).

Los escamados son un grupo diverso e importante para los estudios ecológicos, evolutivos y biogeográficos (Reeder et al. 2015). Recientemente se ha resuelto la filogenia de las familias de los escamados (lagartijas) donde se pueden ubicar dos grandes grupos los Gekkota y los Unidentata (Reeder, et al. 2015; Wiens y Lambert, 2015). Las familias de escamados del Altiplano Mexicano presentan patrones de distribución restringidos a Norteamérica que corresponden principalmente a zonas áridas, así como diferentes tiempos de divergencia y distintas capacidades ecológicas.

Los sistemas naturales (provincias, ecorregiones, etc.) exhiben una estructura jerárquica definida por el análisis comparativo de las áreas de distribución de los taxones. Así la unidad básica de la jerarquía biogeográfica es la provincia. Cada uno de los niveles de la jerarquía biogeográfica agrupa los siguientes niveles (ej. un reino contiene una o más regiones, etc.) con base en características homólogas (Escalante, 2009).

La regionalización actual de México reconoce 14 provincias biogeográficas (Morrone, 2001b, 2005, 2006): California, Baja California, Sonora, Altiplano Mexicano, Tamaulipas, Península de Yucatán, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, Eje Volcánico Transmexicano, Cuenca del Balsas, Sierra Madre del Sur, Costa Pacífica Mexicana, Golfo de México y Chiapas.

El Altiplano Mexicano (AM), es una provincia biogeográfica que abarca los estados del centro norte del País: Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Puebla, San Luis Potosí, Sonora, Tlaxcala y

Zacatecas y el sur de Texas en los Estados Unidos de América. Está delimitado por la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental. Su altitud varía entre 1000 y 2000 m (Morrone, 2004b). El AM incluye los desiertos de Sonora y Chihuahua. La vegetación que predomina en el Altiplano Mexicano son las estepas de gramíneas de los géneros *Bouteloua* y *Aristida*, extendidas entre matorrales xéricos y bosques de los llanos y valles montañosos (Morrone, 2005).

En el intento de conservar la biodiversidad global se han utilizado criterios que representan una porción relativa de la biodiversidad en diferentes áreas (subrogados) (Gaston y Blackburn, 1995). Tradicionalmente las zonas de alto endemismo, de riqueza específica y de especies vulnerables se han considerado como subrogados para la conservación de la biodiversidad (Luna-Vega et al. 2010). Así mismo en la actualidad las áreas de endemismo se reconocen como subrogados de la biodiversidad (Méndez-Larios et al. 2005; Domínguez et al. 2006; Lamoreux et al. 2006; Margules y Sarkar, 2009; Escalante y Morales, 2015; Mendoza-Fernández et al. 2014). Estos subrogados son afectados por la pérdida de la biodiversidad, por el cambio del uso de suelo, por el cambio climático y por perturbaciones provocadas por el ser humano (Leakey y Lewin, 1996; May et al. 1995; Moritz et al. 2008; Jarema et al. 2009; Beever y Belant, 2012; Mendoza-Fernández et al. 2014).

En el presente trabajo se busca identificar las áreas de endemismo de las nueve familias de lagartijas que se distribuyen en el Altiplano Mexicano mediante un análisis de endemidad, además de priorizar áreas para la conservación y realizar un análisis de discrepancias para evaluar la efectividad de las Áreas Naturales Protegidas en el AM.

2. Antecedentes.

2.1 Propuestas biogeográficas del Altiplano Mexicano

Existe una amplia variedad de propuestas de delimitación del Altiplano Mexicano que sustentan la naturalidad de esta provincia biogeográfica, definidas a partir de diferentes métodos biogeográficos y criterios geológicos. Se ha delimitado geográficamente desde el sur de Estados Unidos, abarca los desiertos de Sonora, Sinaloa, Mojave y Chihuahuense y se extiende hacia centro de México (Morafka,

1977; Riddle, 1995; Riddle y Hafner, 2006; Flores-Villela y Martínez-Salazar, 2009)
(figura 1).

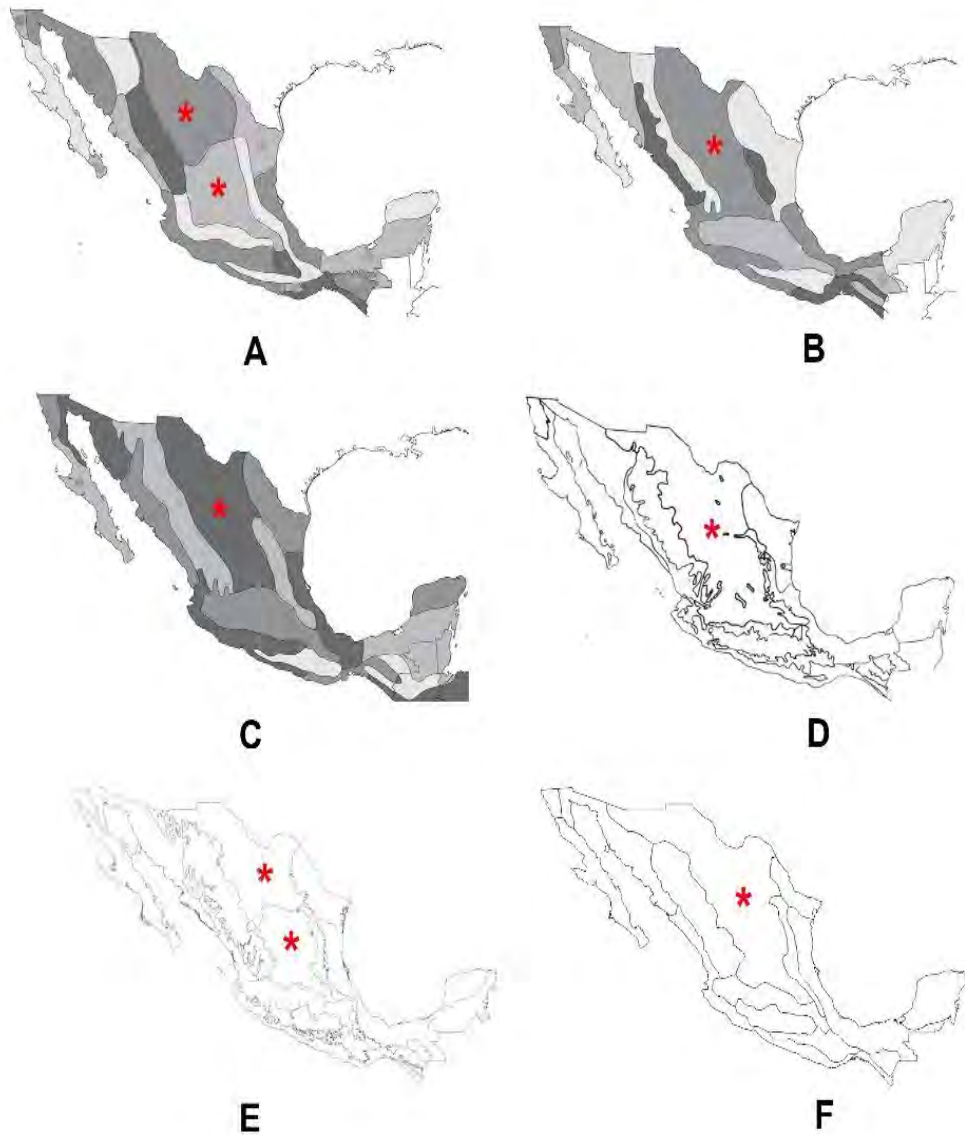


Figura 1. Propuestas de regionalización para el Altiplano Mexicano (el asterisco señala la zona del AM) tomados de: (A) Austro-Central, Chihuahuense, Apalachiana (Smith, 1941): *Sceloporus*; (B) Chihuahua-Zacatecas (Goldman y Moore, 1945): mamíferos y aves; (C) Chihuahua-Zacatecas (Stuart, 1964): vertebrados; (D) Altiplanicie (Rzedowski, 1978): plantas; (E) Altiplano norte y Altiplano Sur (Arriaga et al. 1997): plantas; (F) Altiplano Mexicano (Morrone, 1999; 2002; 2004a,b): insectos.

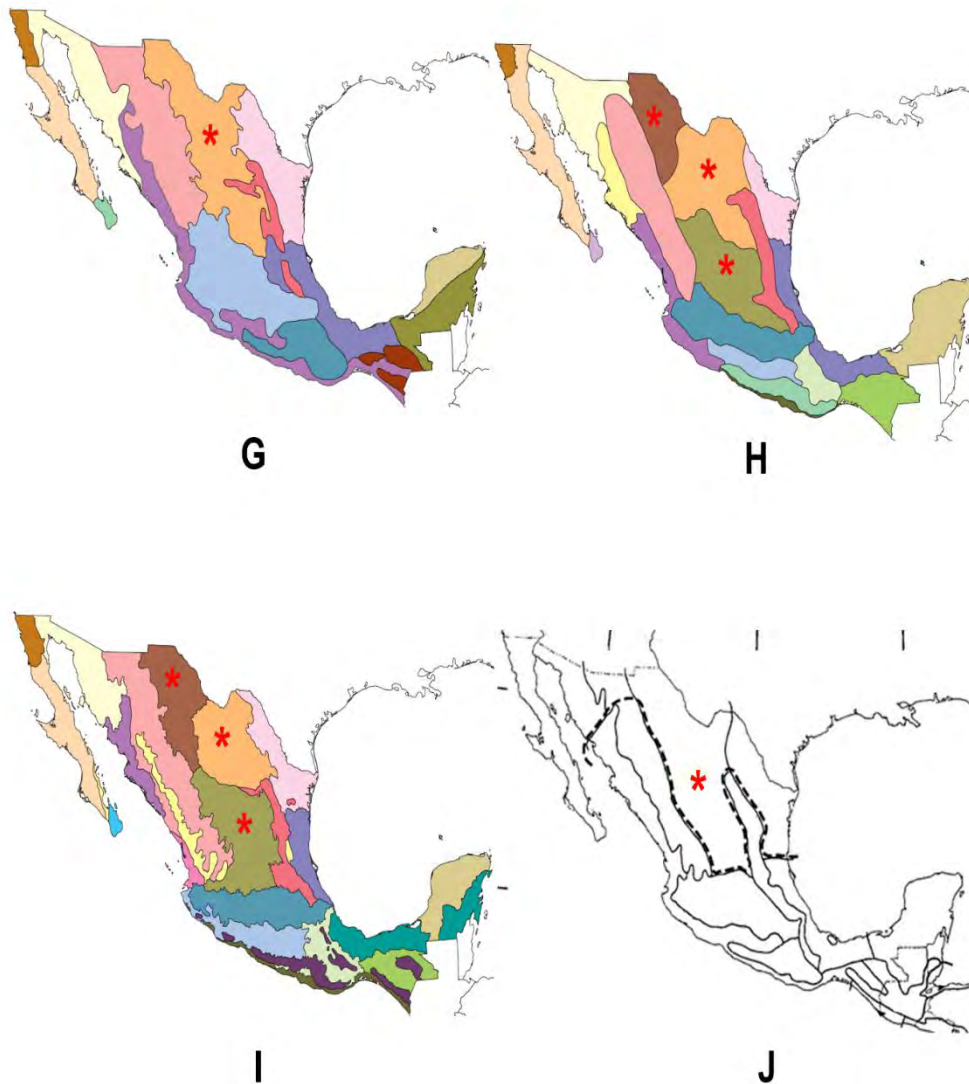


Figura 1. Propuestas de regionalización para el Altiplano Mexicano tomados de: (G) Desierto de Chihuahua, (Casas-Andreu y Reyna-Trujillo, 1990): herpetofauna; (H) Chihuahuense, Coahuilense, Zacatecana (Ramírez-Pulido y Castro-Campillo, 1990): mamíferos; (I) Chihuahuense, Coahuilense (Ferrusquía-Villafranca, 1990): criterios morfotectónicos; (J) Altiplano (Campbell, 1999): herpetofauna.

Riddle y Honeycutt (1990) propusieron que existe una relación entre el desierto de Sonora, Chihuahuense y la región de Tamaulipas-Texas con base en un estudio de biogeografía histórica de roedores del género *Onychomys*. Los autores destacaron la importancia de la vicarianza y la composición del tipo de vegetación (árido y semiárido) para esta región, y que probablemente estos factores estén relacionados con los cambios climáticos del Terciario tardío y Cuaternario.

Morrone et al. (1999) realizaron un análisis de parsimonia de endemismos basado en los patrones de distribución de 801 especies y subespecies de insectos, plantas y aves distribuidas en 19 provincias biogeográficas mexicanas con el objetivo de determinar sus relaciones biogeográficas. Reportaron que el AM está relacionado con las provincias de Cabo, California, Baja California, Tamaulipas, Sierra Madre Occidental y Sonora.

Flores-Villela y Martínez-Salazar (2009) realizaron un análisis biogeográfico cladístico de 10 taxones herpetofaunísticos. Describieron que el desierto de Sonora y el Chihuahuense se encuentran más relacionados por la congruencia en taxones compartidos cómo también por sus áreas de endemismo, así mismo, estos desiertos tienen relación con la Sierra Madre Occidental y Oriental. Por último, mencionan que el desierto de Sonora y Chihuahuense se diferencian de la región de Tamaulipas-Texas porque está última tiene un origen más reciente.

El origen del AM también se ha estudiado desde una perspectiva geológica resumido en el siguiente cuadro se presentan eventos importantes que ocurrieron en esa provincia:

Cuadro 1. Eventos geológicos que sucedieron en el Altiplano Mexicano

Evento	Era/Período	Literatura
Sedimentación en un mar epicontinental	Paleozoico	Ferrusquía-Villafranca, 1998
Actividad tectónica y disposición marina epicontinental	Pérmico	Ferrusquía-Villafranca, 1998
Los desiertos de Norteamérica alcanzaron su máxima extensión.	Cenozoico	Riddle y Hafner, 2006
Desarrollo de complejos arrecifales	Cretácico temprano	Ferrusquía-Villafranca, 1998
Levantamiento de montañas y planicies (Isla de Coahuila y Península de Tamaulipas)	Cretácico temprano y medio	Ferrusquía-Villafranca, 1998
Eventos de erosión y sedimentación en los desiertos cálidos de Norteamérica.	Paleoceno	Riddle y Hafner, 2006
Cambio climático en los desiertos de Norteamérica	Pleistoceno	Norris, 1958

2.2 Análisis de endemidad.

El análisis de endemidad (AE) (Szumik et al. 2002; Szumik y Goloboff, 2004) identifica áreas de endemismo al evaluar la congruencia espacial de la distribución de las especies en un conjunto de celdas (set). El AE permite identificar áreas alopátricas, anidadas, superpuestas y áreas disyuntas (Carine et al. 2009; Escalante et al. 2009; Casagrande et al. 2012). Este método evalúa el ajuste y sustento del área de endemismo a través de un índice de endemidad (E), que dependerá del índice de endemidad de cada taxón endémico (e) y del número especies endémicas; y retiene aquellas áreas de máximo ajuste (Szumik et al. 2002; Szumik y Goloboff, 2004). El AE está implementado en los programas de cómputo NDM/VNDM (Goloboff, 2004; Szumik y Goloboff, 2004) y es un método cuantitativo, específico y confiable para la identificación de áreas de endemismo (Casagrande et al. 2012).

El AE permite utilizar áreas consenso lo que hace más sencilla la descripción y comparación de los resultados. El consenso estricto garantiza que al menos algunas especies serán compartidas entre todas las áreas individuales, mientras que el consenso flexible agrupa áreas individuales que compartan un porcentaje de las especies con alguna de las áreas individuales ya incluidas en el consenso (Aagesen et al. 2013; Ribeiro et al. 2014). Diferentes autores han utilizado las opciones consenso (Casagrande et al. 2009; Sandoval y Ferro, 2014; DaSilva et al. 2015; Noguera-Urbano y Escalante, 2015; Oliveira et al. 2015; Hoffmeister y Ferrari, 2016) y propusieron diferentes patrones de endemismos.

El AE presenta ventajas sobre otros métodos para la identificación de áreas de endemismo, cómo es el uso flexible del tamaño de celda (Casagrande et al. 2009), la modificación de parámetros en el programa NDM/VNDM (Escalante et al. 2013; Weirauch et al. 2016), y la posibilidad de usar taxones superiores durante el análisis (Szumik y Goloboff, 2015).

2.3 Efecto del uso de diferentes tamaños de celda en el AE.

Las celdas contienen información de presencia/ausencia de las especies analizadas y dividen la región estudiada en áreas de superficie comparable. Su uso como unidad básica de análisis es una manera simple de uniformar, cuantificar, y

transformar la búsqueda de patrones en un proceso objetivo y repetible (Casagrande et al. 2009). La celda más utilizada se basa en un cuadrículado de meridianos y paralelos geográficos. Aunque las celdas de este tipo no poseen igual superficie, debido a la distorsión latitudinal, uno de los motivos por los cuales se usan comúnmente es la facilidad con que se construyen sobre datos de coordenadas espaciales (georreferencias) (Casagrande et al. 2009).

El uso de diferentes tamaños de celda permite recuperar áreas de endemismo con diferentes características (Casagrande et al. 2009). Usualmente, el uso de celdas pequeñas permite la identificación de áreas más detalladas y/o fragmentadas. Sin embargo, esto puede aumentar la discontinuidad espacial de los datos o la disminución de la simpatria entre las especies y reduce el número de patrones de endemismo recuperados. Por otra parte, el uso de celdas más grandes aumenta artificialmente la congruencia de la distribución de las especies, es decir, las celdas grandes producen un gran número de agrupaciones en los datos (Casagrande et al. 2009).

La discontinuidad espacial de una especie puede no reflejar la realidad en la distribución de las especies y puede ser tomado como un dato confuso y ambiguo. Para resolver este problema o sesgo, la distribución de una especie puede extrapolarse a través de opciones de llenado de una celda en el programa NDM. Existen dos opciones de llenado: (1) Relleno de radio/radio asumido (R.fill/R.ass); que extrapola la distribución de especies a las celdas adyacentes a través de un radio definido por el usuario (expresado en porcentaje) a partir de los puntos de ocurrencia y (2) "Auto fill" el cual asume la distribución continua para cada especie mediante un método de polígono máximo (valor default en NDM) (Szumik y Goloboff, 2004). Aagesen et al. (2009), Casagrande et al. (2009) y Hoffmeister y Ferrari (2016) mencionan que la opción de llenado es una buena alternativa para resolver el problema en la distribución discontinua de las especies.

2.4 Importancia de los taxones superiores en el AE.

Szumik y Goloboff (2015) discutieron la importancia de utilizar taxones superiores (ej. género y familia) e información filogenética para mejorar la identificación de áreas de endemismo. En su artículo original los autores utilizaron información de los

mamíferos de la región Neártica. Los resultados fueron relevantes ya que se identificaron áreas de endemismo únicas cuando se utilizaron los géneros (*Chaetodipus*, *Perognathus* y *Xerospermophilus*), es decir, ninguna de las jerarquías inferiores o especies individuales incluidas en su análisis pudo ser identificada como área de endemismo.

Otro resultado importante fue que se identificó un área de endemismo de gran extensión por la distribución congruente del género *Lepus* (*L. americanus* + *L. californicus*), por lo que los autores concluyeron que las áreas grandes a menudo requieren considerar los taxones superiores para una delimitación más precisa de las áreas de endemismo. La opción de utilizar distintas jerarquías taxonómicas durante el análisis de endemismo se ha implementado recientemente en el programa NDM/VNDM.

2.5 Análisis de endemismo en México.

Algunos de los análisis de endemismo realizados hasta el momento incluyen a México a escala regional o continental. Además, se han utilizado las áreas de endemismo identificadas con el análisis de endemismo bajo escenarios del cambio climático (Aguado-Bautista y Escalante, 2015). Todos estos análisis se han realizado con distintos grupos taxonómicos.

En el caso de mamíferos existen varios análisis de endemismo que incluyen a México (Escalante et al. 2007 a, b, 2009, 2010, 2013; González-López, 2011; Noguera-Urbano y Escalante, 2015) estos análisis han demostrado que el AM se extiende más allá del límite político de México y que abarca los estados del sur de Estados Unidos. Para insectos está el trabajo de Rivas-Soto (2011) que identificó áreas de endemismo del grupo Coleoptera y ubicó la provincia de la Faja Volcánica Transmexicana. Particularmente para escamados Fernández-Badillo (2013) y Fernández-Badillo et al. (2014) describieron las áreas de endemismo para lagartijas y serpientes en los desiertos mexicanos mediante AE y PAE. En su análisis identificaron áreas de endemismo que recuperan al desierto Chihuahuense que corresponde con la provincia biogeográfica del AM. Además, señalaron que el AE identificó un mayor número de áreas de endemismo que el PAE.

2.6 Tiempos de divergencia en las Áreas de Endemismo.

Las áreas de endemismo analizan la congruencia espacial de los taxones que pueden estar o no relacionados filogenéticamente (Platnick, 1991). Estas áreas pueden originarse debido a factores históricos (Harold y Mooi, 1994) definidos por taxones filogenéticamente relacionados. Mientras tanto la información sobre los tiempos de divergencia de los taxones que muestran congruencia en su distribución permite entender como las áreas de endemismo actuales surgieron a partir de distintos eventos en el pasado (Noguera-Urbano, 2016). La información geológica y fisiográfica también ha sido incorporada para explicar las áreas de endemismo, (Morrone, 2009). Con base en lo anterior, algunos autores señalan la importancia de tomar en cuenta los tiempos de divergencia de los taxones en los análisis de biogeografía histórica, una vez que se han identificado las áreas de endemismo (Riddle et al. 2000; Riddle y Hafner, 2006; Morrone, 2009; Gámez et al. 2016; Noguera-Urbano, 2016).

Recientemente Noguera-Urbano (2016) documentó los tiempos de divergencia de los mamíferos Neotropicales de un área de endemismo (Ae) (Noguera-Urbano y Escalante, 2015), en la región Andina que ha sido importante en la divergencia de los mamíferos neotropicales y de esta región, dicha Ae está sustentada por cinco especies. Los taxones que sustentaron dicha Ae presentaron cuatro tiempos de divergencia (Pleistoceno, Plioceno, Mioceno y Oligoceno) estos tiempos de divergencia están relacionados con diferentes eventos geológicos y climáticos de esta región que posiblemente modificaron la distribución de los taxones en el pasado. El autor concluyó que es importante considerar los tiempos de divergencia de los taxones que conforman las áreas de endemismo para tener un mayor conocimiento de cómo interpretar las áreas de endemismo cuando se explora la relación de los taxones en las dimensiones espaciotemporales y con información filogenética.

En México, Montiel-Canales (2017) identificó las áreas de endemismo (ae) y documentó los tiempos de divergencia de los vertebrados terrestres que se distribuyen en los bosques mesófilos de montaña. En su análisis se identificaron 41 áreas de endemismo con tres tamaños de celda (0.25°, 0.5° y 1.0°) las ae

presentaron cuatro tiempos de divergencia (Oligoceno, Mioceno, Plioceno y Pleistoceno), y todas ellas presentaron al menos un taxón que divergió durante el Mioceno lo cual está relacionado con la época en donde los bosques mesófilos comenzaron su fragmentación. El autor concluyó que las áreas de endemismo muestran una complejidad en la escala espaciotemporal.

2.7 Riqueza específica de lagartijas en el Altiplano Mexicano

Se conocen 9 familias, 21 géneros y 81 especies de lagartijas en el AM. De las cuales el 48 % de las especies son endémicas para México y el 52 % tiene distribución hacia el sur de Estados Unidos (cuadro 2). Existen diversos trabajos que describen la distribución geográfica y listados taxonómicos a nivel estatal en el Altiplano Mexicano.

Cuadro 2. Lista de las familias de lagartijas en el Altiplano Mexicano (elaboración propia).

Familia	Género	Especies	Vegetación	Altitud
Anguidae	4	8	Matorral xerófilo y pino encino	800-3400 m
Crotaphytidae	2	5	Matorral xerófilo	650-2000 m
Eublepharidae	1	2	Matorral xerófilo	200-1800 m
Gekkonidae	1	1	Matorral xerófilo	1200 m
Helodermatidae	1	1	Bosque de pino	1700 m
Phrynosomatidae	7	45	Matorral xerófilo y pino encino	500-2700 m
Scincidae	2	6	Bosque de pino	700-2500 m
Teiidae	1	10	Matorral xerófilo y bosque de pino	350-2400 m
Xantusidae	2	3	Matorral xerófilo	1200 m

A nivel estatal, Enderson et al. (2009) reportaron 64 especies para Sonora. Para Chihuahua se han registrado 51 especies (Lemos-Espinal et al. 2015). En el estado de Coahuila se registran 46 especies (Lemos-Espinal et al. 2015). En Durango se registran 53 especies (Valdez-Lares et al. 2009). Para Zacatecas se han registrado 29 especies (Flores-Villela y García-Vázquez, 2014). Lemos-Espinal y Dixon (2013) reportaron 33 especies para San Luis Potosí. Para Guanajuato se han registrado 11 especies (Dugès, 1890, 1895; Flores-Villela y García-Vázquez, 2014). En Querétaro Nieto-Montes de Oca y Pérez-Ramos, (1999) registran 34 especies. Para Hidalgo se registraron entre 36 y 42 especies (Lemos-Espinal y Dixon, 2016; Ramírez-Bautista et al. 2014; respectivamente) y para Puebla Flores-Villela y García-Vázquez (2014) reportan 45 especies.

2.8 Áreas prioritarias para la conservación

El establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP) es una herramienta potencialmente efectiva para la conservación de recursos genéticos, las especies, los ecosistemas y los paisajes, así como también el desarrollo económico y humano sostenible (Bezaury-Creel et al. 2009). Sin embargo, la mayoría de las ANP en México son reservas *ad hoc* que no fueron establecidas con el objetivo de conservar la diversidad biológica (Ordoñez-Díaz y Flores-Villela, 1995).

Las Áreas Naturales Protegidas son una porción terrestre o acuática de un estado, representativa de un ecosistema y donde el ambiente original no ha sido esencialmente alterado y produce beneficios ecológicos reconocidos y valorados (Morrone y Escalante, 2009). En México, las áreas naturales protegidas se crean a partir de un decreto presidencial y las actividades que pueden llevarse a cabo en ellas se establecen de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (SEMARNAT). Están sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo, según diferentes categorías legales (Morrone y Escalante, 2009).

Actualmente en México se encuentran categorizadas siete tipos de ANP. Reservas de la Biosfera (RB), Parques Nacionales (PN), Monumentos Naturales (MN), Áreas de Protección de los Recursos Naturales (APRN), Áreas de protección de Flora y Fauna (APFyF) y Santuarios (SANT) (CONANP, 2015).

En México existen 177 Áreas Naturales Protegidas, de las cuales 23, se encuentran dentro del Altiplano Mexicano (cuadro 3).

Cuadro 3. ANP en el Altiplano Mexicano (elaboración propia).

Categoría	Área Natural Protegida
APFyF	Campo verde
APFyF	Médanos de Samalayuca
APFyF	Cañón de Santa Elena
APFyF	Ocampo
APFyF	Maderas del Carmen
APFyF	Cuatrociénegas
APFyF	Sierra de la Mojonera
APFyF	Sierra de Álvarez
APRN	C.A.D.N.R. 004 Don Martín
APRN	C.A.D.N.R. 004 Don Martín
APRN	C.A.D.N.R. 001 Pabellón
APRN	C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit
APRN	Z.P.F.V. la Cuenca Hidrológica del Río Necaxa
PN	Cumbres de Monterrey
PN	El Chico
PN	Gogorrón
PN	El Potosí
PN	Los Marmoles
RB	Barranca de Metztitlán
RB	Janos
RB	Mapimí
RB	Sierra Gorda de Guanajuato
RB	Sierra Gorda

El análisis de discrepancias o de vacíos (en inglés GAP analysis) propuesto por Scott et al. (1987, 1988) es una técnica cartográfica que compara la localización de las áreas de endemismo y la localización de las ANP, con la finalidad identificar las áreas que merecen prioridad para la conservación (Scott et al. 1987; Bojórquez-Tapia y Flores-Villela, 1990). En algunos trabajos el análisis de discrepancias ha sido modificado para su aplicación en la conservación (Llorente et al. 1994). Esta modificación considera diferentes subgrupos de la biodiversidad como lo es la riqueza de especies, centros y áreas de endemismo (Bernardo-Vázquez y Valenzuela-Galván, 2009; Morales et al. 2016). Sin embargo, el sesgo de información (datos) de los taxones, la validación taxonómica y los inventarios o bases de datos incompletos en diferentes grupos taxonómicos son un limitante para llevar a cabo un análisis de discrepancias (Sánchez-Cordero et al. 2001; Llorente et al. 1994). En México Ochoa-Ochoa y Flores-Villela (2006) realizaron un análisis de discrepancias con las ANP y las regiones Terrestres Prioritarias (RTP) con las áreas de endemismo de la herpetofauna. Los autores mencionaron que las áreas de endemismo mostraron poca coincidencia con alguna de las áreas prioritarias para la conservación.

3. Justificación.

Los métodos de la biogeografía histórica permiten analizar e interpretar los patrones de distribución de los seres vivos. De esta manera, la identificación de áreas de endemismo constituye el primer paso para la determinación de regionalizaciones biogeográficas ya que documentan los patrones de la diversidad biológica (Morrone y Espinosa, 1998) y pueden emplearse para establecer estrategias de conservación y uso sustentable de la misma (Escalante, 2009). Sin embargo, existen pocos trabajos en el desarrollo de métodos biogeográficos aplicados a la conservación y particularmente para lagartijas.

Recientemente Wiens y Lambert (2015) dividieron a las familias de los escamados en cuatro grupos filogenéticos que muestran origen evolutivo diferente: Unidentata, Episquama, Toxicofera y Aguiomorfa. Además, presentan diferentes capacidades de dispersión y tipo de hábitat; todas estas características los convierten en un grupo importante para la evaluación de las áreas de endemismo en el AM.

Se ha descrito la riqueza de especies y distribución geográfica de las lagartijas en los estados que incluye el Altiplano Mexicano (Dugès, 1890, 1895; Tanner, 1987; Nieto-Montes de Oca y Pérez-Ramos, 1999; Lemos-Espinal, 2009; Lemos-Espinal et al. 2004, 2015; Lemos-Espinal y Smith, 2007a, b; Lemos-Espinal y Dixon, 2013; Valdez-Lares et al. 2009; Flores-Villela y García-Vázquez, 2014; Ramírez-Bautista et al. 2014). Con base en lo anterior, es prioritario identificar las áreas de endemismo en el Altiplano Mexicano para conocer como es la composición de especies exclusivas de la región. Esta información es indispensable para priorizar áreas que permiten la conservación estos taxones. Los tiempos de divergencia de los taxones permitirán conocer los eventos del pasado que dieron origen a las áreas de endemismo actuales.

4. Objetivo General.

- Determinar las áreas de endemismo de los escamados (lagartijas) en la provincia biogeográfica del Altiplano Mexicano, a través de un análisis de endemidad, para poder establecer zonas prioritarias para su conservación.

4.1 Objetivos particulares.

- Identificar los patrones de distribución de las 9 familias de lagartijas en la provincia biogeográfica del Altiplano Mexicano.
- Realizar un análisis de endemidad con base en datos de distribución de estas lagartijas en el AM, a través del programa NDM/VNDM.
- Evaluar el efecto del tamaño de celda en la identificación de áreas de endemismo.
- Evaluar el efecto del uso taxones superiores en la identificación de áreas de endemismo.
- Seleccionar áreas prioritarias para la conservación, mediante el índice de endemidad.
- Realizar un análisis de discrepancias con las áreas de endemismo seleccionadas para su conservación.
- Documentar los tiempos de divergencia de las lagartijas que definen las áreas de endemismo seleccionadas para su conservación en el Altiplano Mexicano.

5. Métodos.

5.1 Área de estudio

El Altiplano Mexicano abarca 681 mil km² en la parte centro y norte de México, es caracterizado por climas áridos y semiáridos, el tipo de vegetación predominante es matorral (Rzedowski, 1978). El promedio anual de lluvia varía entre 150 y 500 mm, con altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 3000 m. Se considera al Altiplano dentro de la región Neártica (Rzedowski, 1978), además de mostrar relación con las provincias biogeográficas de Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, Sonora, Tamaulipas y la región suroeste de Estados Unidos (Flores-Villela y Goyenechea, 2003). Los eventos climáticos y geológicos del Terciario y Cuaternario delimitaron la zona árida del Altiplano, por lo que quedaron taxones aislados que son particulares para el Altiplano Mexicano (Rzedowski, 1978).

5.2 Obtención de registros

Se obtuvieron los registros de distribución de las 9 familias de lagartijas con 21 géneros y 81 especies que se distribuyen a lo largo de los Estados que se encuentran en el AM. El 65 % de estas especies se distribuyen en ambientes áridos (vegetación matorral xerófila y halófila) y el 35 % en ambientes de cálidos a templados (selva baja, bosques de pino, pino-encino, oyamel, coníferas, roble, mesófilo de montaña).

Los registros de las especies se obtuvieron de las siguientes bases de datos en línea:

GBIF (Global Biodiversity Information Facility)	http://www.gbif.org
HERPNET	http://www.herpnet.org/
REMIB (Red Mundial de Información sobre Biodiversidad)	http://www.conabio.gob.mx
UNIBIO (Unidad de Informática para la Biodiversidad)	http://www.unibio.ibiologia.unam.mx

Además, se obtuvieron datos de colecciones científicas Nacionales (CIB-UAEH, CIDIIR-DURANGO; Colección de Anfibios y Reptiles del Estado de TAMAULIPAS-UANL), Laboratorio de Colecciones Científicas y Sistemática Molecular, Universidad Autónoma de Zacatecas; Colección Zoológica, Universidad Autónoma de

Aguascalientes, colecciones de Estados Unidos: UTEP Biodiversity Collections (University of Texas at El Paso), UTA Herpetology Collection (University of Texas at Arlington) y literatura especializada.

Cada uno de los registros de las especies se proyectó en ArcGis 10.3 (ESRI, 2016). Para el presente análisis, se consideraron registros únicos para cada especie, es decir, datos no repetidos, se eliminaron datos inciertos, registros que no coincidían con la distribución de los organismos y datos que no presentan la identidad de la especie. Se utilizó el mapa de las provincias biogeográficas propuesta por Morrone (2001b, 2004b, 2005, 2006) para contrastar las áreas de endemismo obtenidas en el análisis de endemidad. Los resultados también fueron comparados con propuestas de otros autores (Escalante et al. 2013; Fernández-Badillo, 2013; Morrone et al. 2017).

Se revisó la taxonomía de las especies y se consideraron las actualizaciones realizadas hasta febrero del 2017, incluidas en Integrated Taxonomic Information System (2016); Smith y Taylor, (1950); Liner y Casas-Andreu, (2008); Ramírez-Bautista et al. (2014); Lemos-Espinal et al. (2015); Lemos-Espinal y Dixon, (2016). Las subespecies no fueron consideradas.

5.3 Análisis de Endemidad (tamaño de celda y taxones superiores)

Se obtuvo un total de 10926 registros de distribución de las 81 especies de lagartijas del Altiplano Mexicano. A cada especie se le asignó un número de identificación (ID) y se realizó una base de datos con el número y nombre de la especie, las coordenadas geográficas de las localidades de recolecta y tipo de vegetación. Posteriormente se construyó una matriz con el nombre de la especie y la coordenada geográfica y se le ordenó al programa no analizar a los taxones superiores (géneros y familias) que fueran monotípicos con el fin de evitar redundancia en el análisis. Este archivo fue transformado al formato .xyd, para que pudiera ser leído por el programa NDM/VNDM (Goloboff, 2004).

Los análisis de endemidad se realizaron con diferentes tamaños de celda $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ y $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$. También se realizaron análisis con diferentes jerarquías taxonómicas (especie, género y familia), con la finalidad de observar si los patrones encontrados en cada caso muestran diferencias (cuadro 4).

Cuadro 4. Parámetros y radios de llenado (R. fill/R. ass) utilizados durante los análisis de endemidad a diferentes escalas espaciales y diferentes jerarquías taxonómicas.

Tamaño de celda	Jerarquía taxonómica	R.fill		R.ass	
		X	Y	X	Y
0.5° X 0.5°	Especie, género, familia	70	70	90	90
1° X 1°	Especie, género, familia	40	40	50	50
1.5° X 1.5°	Especie, género, familia	5	5	10	10

La búsqueda de áreas de endemismo se realizó a través del análisis de endemidad propuesto por Szumik y Goloboff (2004). Se utilizó el programa NDM/VNDM que evalúa cuántos y qué tan endémicos son los taxones para un área dada mediante un índice de endemidad. Las áreas mejor apoyadas por los datos, serán seleccionadas como áreas de endemismo. El programa utiliza un índice de endemidad (IE) para poder calcular los valores de las áreas; a continuación se describe la fórmula (Szumik et al. 2007):

$$IE_x = \frac{p + (i \times F_i) + (a \times F_a)}{t + (o \times 1/F_o) + (d \times 1/F_d) + (n \times 1/F_n)}$$

Donde:

p: número de celdas del área donde el taxón X está presente.

i: número de celdas del área donde el taxón X está inferido (cuando satisface la regla de homogeneidad, (ver Szumik y Goloboff, 2004).

a: número de celdas del área donde el taxón X está asumido (determinado por el usuario).

t: número total de celdas que tiene el área.

o: número de celdas adyacentes al área donde el taxón X está presente.

d: número de celdas adyacentes al área donde el taxón X está asumido.

n: número de celdas no-adyacentes al área donde el taxón X está asumido.

F_i factor para presencias inferidas dentro del área (default 0.50)

F_a factor para presencias asumidas dentro del área (default 0.75)

F_o factor para presencias observadas fuera del área (default 0.50)

F_d factor para presencias asumidas adyacentes al área (default 2.00)

F_n factor para presencias asumidas no-adyacentes al área (default 0.50).

Se hicieron búsquedas heurísticas con 100 réplicas. Se retuvieron aquellas áreas que incluyeran al menos el 40 % de especies únicas y un mínimo de dos especies endémicas con un E (índice de endemidad) mínimo de 1.0; se determinó que los e (valor de endemidad individual) que representan un mejor ajuste de la distribución del taxón con el conjunto de celdas, podrían ser igual o mayores a 0.6, (en NDM/VNDM Set minimum species score); se guardaron áreas sub-óptimas de 0.9. Se utilizó la opción R.fill/R.ass o presencias potenciales con valores modificados según el tamaño de la celda (cuadro 4).

Se utilizaron áreas consenso (AC) que unen áreas individuales que comparten un mismo porcentaje de especies endémicas, para facilitar la descripción y comparación de los resultados. Se utilizó un consenso flexible con áreas que compartiera un valor del 40 % de especies y permiten identificar especies superpuestas (ver Aagesen et al. 2013).

Las áreas consenso que surgieron del análisis se organizaron de acuerdo con el tamaño de celda. Los archivos de salida de NDM/VNDM se exportaron a DivaGIS 7.5.0 (<http://www.diva-gis.org/>), y posteriormente, se exportaron las celdas y las coordenadas en formatos "shape" a ArcGis 10.3 para la visualización y edición de los mapas.

5.4 Áreas prioritarias para la conservación y análisis de discrepancias.

Para la priorización de áreas de conservación, se eligieron las AC con el mayor valor de índice de endemidad identificadas a lo largo del Altiplano Mexicano. Por lo tanto, una vez elegidas las áreas de endemismo con mayor valor de endemidad se realizó un análisis de discrepancias, donde se superpusieron con las ANP del AM y se identificaron las zonas donde coinciden ambas áreas.

5.5 Tiempos de divergencia

Se documentaron los tiempos de divergencia de los taxones que sustentan las áreas de endemismo que fueron seleccionadas para la conservación, a través de literatura especializada, se describieron los tiempos de divergencia y se compararon con eventos geológicos y climáticos que sucedieron en el Altiplano Mexicano (Norris, 1958; Adest, 1977; Ferrusquía-Villafranca, 1998; Vicario et al. 2003; Brandley et al. 2011; Noonan et al. 2013; Wiens y Lambert, 2015; Leaché et al. 2016).

6. Resultados

6.1 Análisis de endemividad

Se obtuvieron en total 39 áreas de endemismo (ae) y cuando se aplicó el consenso del 40 % se obtuvieron 34 áreas consenso (AC) sustentadas por 50 especies. En general, los resultados mostraron que a mayor tamaño de celda ($1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$) y al utilizar la opción de llenado correspondiente, se encontró un mayor número de áreas de endemismo (figura 2).

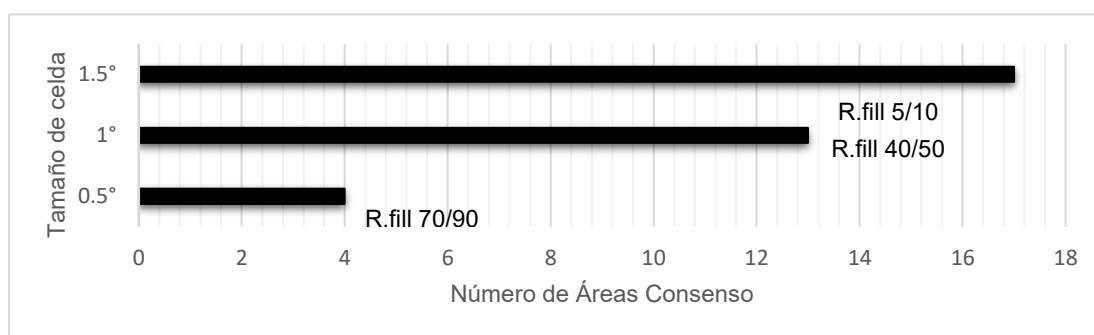


Figura 2. Número de áreas consenso recuperadas bajo diferente tamaño de celda.

Para el tamaño de celda de 0.5° se obtuvo un total de cuatro ae. Con el consenso flexible se obtuvieron cuatro áreas consenso (AC) (AC1-AC4; cuadro 5) con un índice de endemividad que va desde 1.86134 hasta 2.53501 y áreas sustentadas por dos a cuatro especies. Para el tamaño de celda de 1° se obtuvieron 15 ae y 17 AC (AC5-17; cuadro 5) con un valor de endemividad de 1.92095 a 3.52917 y de dos a cinco especies por área. Para el tamaño de celda de 1.5° se identificaron 20 ae y 17 AC (AC18-34; cuadro 5) con un índice de endemividad que va de 1.85000 a 5.41667 y de dos a quince especies sustentan las áreas recuperadas.

Las AC se compararon con la regionalización propuesta por Morrone (2001b, 2005, 2006) que recuperan al Altiplano Mexicano. El AE identificó una variedad de áreas de endemismo que se extienden a lo largo del sur y norte del Altiplano Mexicano (figura 3), donde cada una de las áreas de endemismo presentaron un patrón diferente de anidamiento, superposición y disyunción (figuras 4-12). En el sur del AM se encuentran 13 áreas de endemismo y se extienden hacia las provincias de la Sierra Madre Oriental y Golfo de México, 14 áreas de endemismo en el centro del AM y 9 áreas de endemismo en el norte del AM. Estas áreas de endemismo se encuentran además en las provincias de la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre

Oriental, Sonora, Tamaulipas y hacia el sur de Estados Unidos sobre el Archipiélago Madreño, norte de Nuevo México y el oeste de Texas (figura 3).

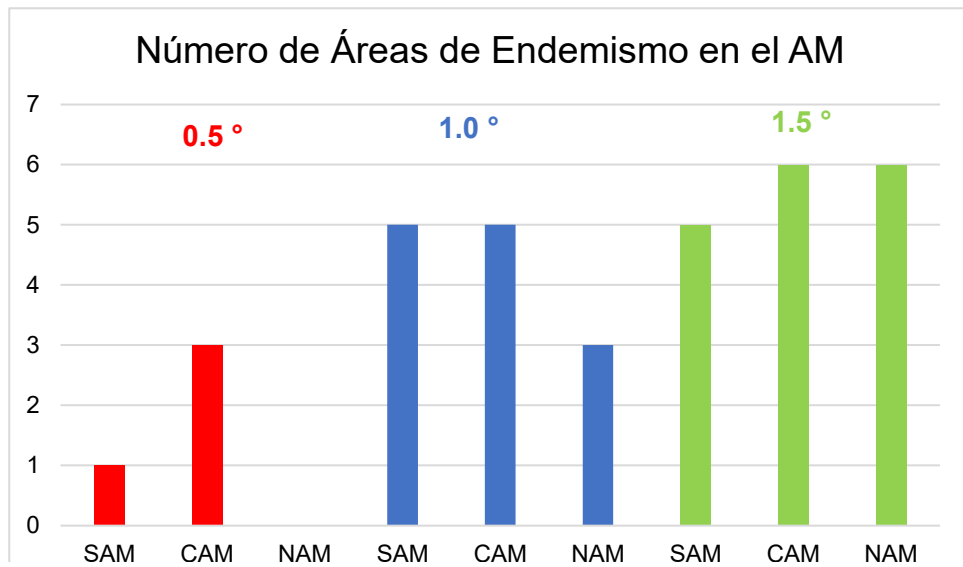


Figura 3. Número de áreas de endemismo identificadas en el sur del Altiplano mexicano (SAM), centro del Altiplano Mexicano (CAM) y norte del Altiplano Mexicano (NAM) con diferente tamaño de celda.

Cuadro 5. Lista de las áreas de endemismo identificada con el análisis de endemidad y el nombre de los taxones que las sustentan. Áreas consenso (AC), tamaño de celda (TC), índice de endemidad (E), número de taxones endémicos que soportan el área de endemismo (TE), áreas individuales (AI). Entre paréntesis se indica el índice de endemidad de cada taxón (e).

AC	TC	E	TE	AI	Taxones
1	0.5° x 0.5°	1.61134-1.86134	2	0	<i>Lepidophyma gaigeae</i> (0.930), <i>Lepidophyma occulor</i> (0.759)
2	0.5° x 0.5°	2.28501-2.53501	3	1	<i>Crotaphytus antiquus</i> (0.724), <i>Sceloporus maculosus</i> (0.627), Género <i>Xantusia</i> (0.934)
3	0.5° x 0.5	1.69773-1.94773	2	2	<i>C. antiquus</i> (0.925), <i>Xantusia bolsonae</i> (0.773)
4	0.5° x 0.5	1.61134-1.86134	4	3	<i>C. antiquus</i> (0.714), <i>Xantusia extorris</i> (0.897)
5	1° x 1°	1.59615-1.84615	2	0	<i>C. antiquus</i> (0.654), Género <i>Uma</i> (0.942)
6	1° x 1°	2.74444-2.99444	5	1, 2, 3	<i>Gerrhonotus lugoi</i> (0.000-0.806), <i>Scincella kikaapoa</i> (0.000-0.833), <i>Uma exsul</i> (0.607-0.800), <i>C. antiquus</i> (0.000-0.722), <i>Sceloporus cyanostictus</i> (0.000-0.944)
7	1° x 1°	3.22222-3.47222	4	4	<i>C. antiquus</i> (0.722), <i>X. extorris</i> (0.833), <i>X. bolsonae</i> (0.694), <i>S. maculosus</i> (0.972)
8	1° x 1°	3.27917-3.52917	4	5	<i>Gerrhonotus ophiurus</i> (0.800), <i>Plestiodon lynxe</i> (750), <i>L. gaigeae</i> (0.958), <i>L. occulor</i> (0.771)
9	1° x 1°	1.84322-2.09322	2	6	<i>Sceloporus scalaris</i> (0.936), <i>Sceloporus torquatus</i> (0.907)
10	1° x 1°	1.67095-1.92095	2	7	<i>Sceloporus aeneus</i> (0.932), <i>Lepidophyma occulor</i> (0.739)
11	1° x 1°	1.80952-2.05952	2	8	<i>Barisia levicollis</i> (0.952), <i>Plestiodon multilineatus</i> (0.857)
12	1° x 1°	1.88102-2.13102	2	9	<i>Heloderma suspectum</i> (0.935), <i>Phrynosoma solare</i> (0.946)
13	1° x 1°	1.68750-1.93750	2	10	<i>G. lugoi</i> (0.844), <i>Uma parapygas</i> (0.844)
14	1° x 1°	3.19291-3.44291	4	11	<i>Plestiodon callicephalus</i> (0.887), <i>Aspidoscelis burti</i> (0.733), <i>Holbrookia elegans</i> (0.734), <i>Sceloporus virgatus</i> (0.839)
15	1° x 1°	1.82692-2.07962	2	12	<i>G. ophiurus</i> (0.827), <i>Hemidactylus frenatus</i> (1.000)
16	1° x 1°	2.43250-2.68250	3	13	<i>Barisia ciliaris</i> (0.850), <i>Sceloporus cautus</i> (0.826), <i>Sceloporus goldmani</i> (0.756)
17	1° x 1°	3.21344-3.46344	4	14	<i>C. antiquus</i> (0.682), <i>S. maculosus</i> (0.886), <i>U. exsul</i> (0.804), Género <i>Xantusia</i> (0.841)

Cuadro 5. Continuación...

AC	TC	E	TE	AI	Taxones
19	1.5° x 1.5°	4.46003-4.92004	15	1, 2, 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 20, 24, 28, 36, 39	<i>Crotaphytus nebricus</i> (0.000-0.750), <i>H. suspectum</i> (0.000-0.952), <i>P. callicephalus</i> (0.000-1.000), <i>A. burti</i> (0.000-0.917), <i>Aspidoscelis exsanguis</i> (0.000-0.844), <i>Aspidoscelis sonora</i> (0.000-0.833), <i>Aspdioscelis uniparens</i> (0.000-0.900), <i>H. elegans</i> (0.000-0.859), <i>Phrynosoma ditmarsii</i> (0.000-0.700), <i>P. solare</i> (0.000-0.860), <i>Sceloporus jarrovi</i> (0.000-0.905), <i>Sceloporus lemosespinali</i> (0.000-0.763), <i>Sceloporus slevini</i> (0.000-0.829), <i>S. virgatus</i> (0.000-0.833), <i>Elgaria kingii</i> (0.000-0.653)
20	1.5° x 1.5°	1.83824-2.08824	3	5, 40	<i>Coleonyx reticulatus</i> (0.662-0.683), <i>Sceloporus couchii</i> (0.000-0.600), <i>Sceloporus merriami</i> (0.800-0.926)
21	1.5° x 1.5°	3.04762-3.29762	6	15, 19, 26, 32	<i>B. ciliaris</i> (0.000-0.792), <i>X. extorris</i> (0.000-0.833), <i>S. cautus</i> (0.000-0.958), <i>S. goldmani</i> (0.000-0.900), <i>Sceloporus oberon</i> (0.000-0.731), <i>Sceloporus samcolemani</i> (0.000-0.714)
22	1.5° x 1.5°	2.07273-2.32273	3	17	<i>S. cyanostictus</i> (0.636), <i>S. samcolemani</i> (0.636), Género <i>Xantusia</i> (0.800)
23	1.5° x 1.5°	2.03333-2.28333	3	21	<i>X. extorris</i> (0.833), <i>S. maculosus</i> (0.600), <i>U. exsul</i> (0.600)
24	1.5° x 1.5°	3.07273-3.32273	4	22	<i>B. ciliaris</i> (0.719), <i>S. cautus</i> (0.844), <i>Sceloporus minor</i> (0.733), <i>S. parvus</i> (0.738)
25	1.5° x 1.5°	1.77275-2.02275	2	23	<i>Cophosaurus texanus</i> (0.850), Género <i>Holbrookia</i> (0.923)
26	1.5° x 1.5°	1.70833-1.95833	2	25	<i>S. couchii</i> (0.875), <i>S. oberon</i> (0.833),
27	1.5° x 1.5°	1.81324-2.06324	2	6	<i>Sceloporus scalaris</i> (0.898), <i>Sceloporus torquatus</i> (0.915)
28	1.5° x 1.5°	5.16667-5.41667	7	30	<i>G. lugoi</i> (0.667), <i>C. antiquus</i> (0.750), <i>S. kikaapoa</i> (0.667), <i>S. maculosus</i> (0.833), <i>U. exsul</i> (0.833), <i>U. paraphygas</i> (0.667), Género <i>Xantusia</i> (0.750)
29	1.5° x 1.5°	1.60000-1.85000	2	31	<i>G. ophiurus</i> (0.700), <i>H. frenatus</i> (0.900)
30	1.5° x 1.5°	1.73214-1.98214	2	33	<i>Crotaphytus reticulatus</i> (0.768), <i>S. cyanogenys</i> (0.964)
31	1.5° x 1.5°	2.39706-2.64706	3	34	<i>P. multilineatus</i> (0.647), <i>P. ditmarsii</i> (0.750), <i>S. virgatus</i> (1.000)
32	1.5° x 1.5°	1.78422-2.03422	2	35	<i>H. approximans</i> (0.907), <i>Phrynosoma modestum</i> (0.877)
33	1.5° x 1.5°	1.70000-1.95000	2	38	<i>B. levicollis</i> (0.850), <i>P. multilineatus</i> (0.850)
34	1.5° x 1.5°	2.90625-3.15625	4	41	<i>G. lugoi</i> (0.625), <i>Coleonyx reticulatus</i> (0.844), <i>S. kikaapoa</i> (0.625), Género <i>Uma</i> (0.813)

6.2 Tamaño de celda 0.5°X0.5°

El AC1_{0.5°} obtuvo un índice de endemidad (IE) de 1.86 y recupera la parte sureste del AM. La sustentan dos especies del género *Lepidophyma* de la familia Xantusiidae (cuadro 5) con valores de endemidad superiores a 0.7, las cuales se distribuyen en bosque de pino encino y matorral xerófilo, en un gradiente altitudinal que va desde los 400 hasta 2500 msnm (figura 4).

El AC2_{0.5°} con un IE de 2.53, se encuentra en la zona centro del AM. Las especies que recuperan esta área son exclusivas de México. Las especies *Crotaphytus antiquus*, *Sceloporus maculosus* y el género *Xantusia* sustentan esta área de endemismo (cuadro 5), todas las especies se encuentra en matorral xerófilo y se distribuyen entre los 1000 y 2000 msnm (figura 4).

El AC3_{0.5°} con un IE 1.94, se encuentra en la parte centro del AM. El área está compuesta por dos especies, una del género *Crotaphytus* y una especie del género *Xantusia* (cuadro 5), que se distribuyen en ambientes xéricos a una altitud que va desde los 1000 hasta los 1300 msnm (figura 4).

El AC4_{0.5°} con un IE de 1.86, se encuentra en la parte centro del AM. Una especie del género *Crotaphytus* y una especie del género *Xantusia*, que pertenecen a las familias Crotaphytidae y Xantusiidae respectivamente sustentan esta área (cuadro 5) con valores de endemidad superiores a 0.7. Son exclusivas de matorral xerófilo y se distribuyen desde 1000 hasta los 1600 msnm (figura 4).

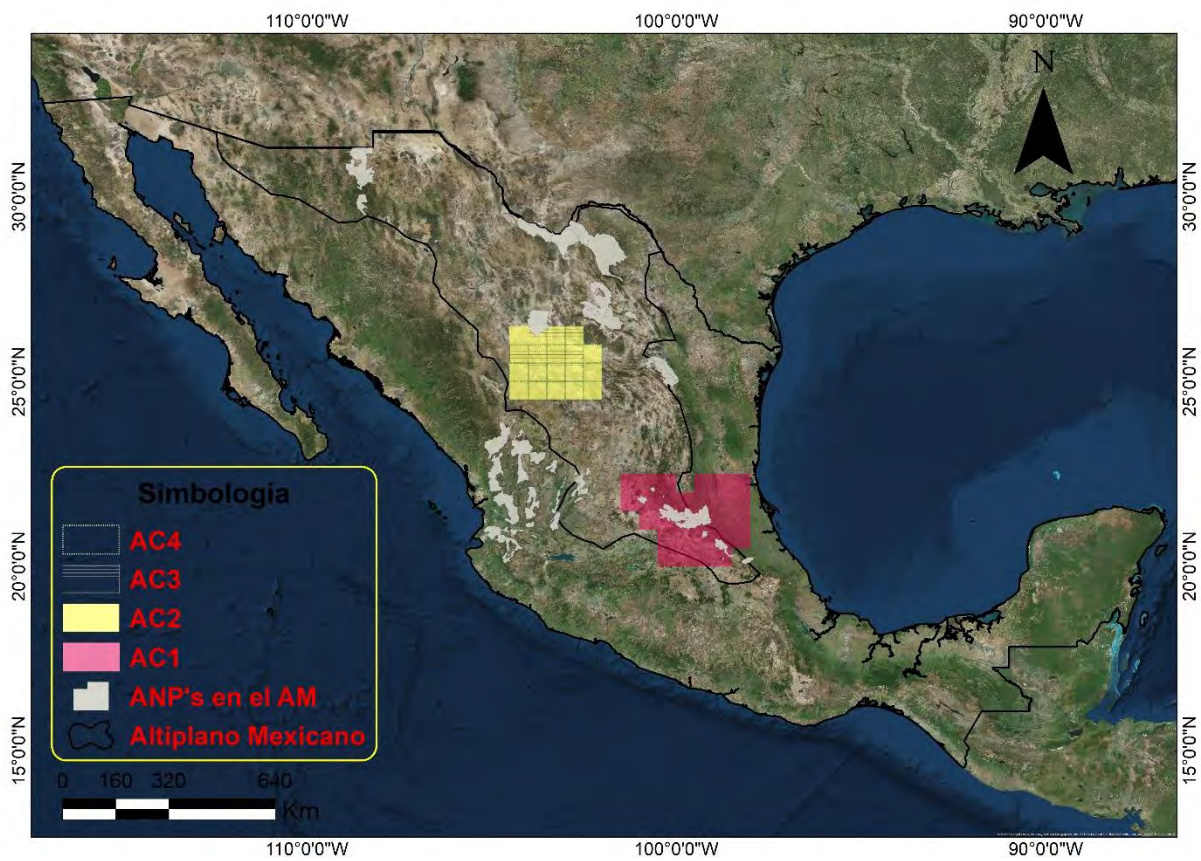


Figura 4. Áreas consenso 1-4 con tamaño de celda de 0.5 X 0.5 grados

6.3 Tamaño de celda 1.0°X1.0°

El AC5_{1.0°} con un IE de 1.84, se encuentra en la parte centro del AM. Esta área se recupera con la especie *Crotaphytus antiquus* y el género *Uma* con valores de endemidad que van de 0.6 a 0.9. Son exclusivas de matorral xérofilo, se distribuyen desde 600 hasta 1300 msnm (figura 5).

El AC6_{1.0°} con un IE de 2.99, se encuentra en la parte noreste del AM. Las especies *Gerrhonotus lugoi*, *Crotaphytus antiquus*, *Sceloporus cyanostictus*, *Uma exsul* y *Scincella kikaapoa* de las familias Anguidae, Crotaphytidae, Phrynosomatidae y Scincidae respectivamente sustentan esta área con valores de endemidad superiores a 0.6. Se encuentran en ambientes de xéricos, se distribuyen desde 600 hasta 1300 msnm (figura 5).

El AC7_{1.0°} con un IE de 3.47, está compuesta por cuatro especies; *Crotaphytus antiquus*, *Xantusia extorris*, *X. bolsonae* y *Sceloporus maculosus* (cuadro 5) con valores de endemidad que van 0.6 hasta 0.9. Esta área de endemismo se encuentra en la parte oeste del AM (figura 5).

El AC8_{1.0°} con un IE de 3.52, se recupera por las especies *Gerrhonotus ophiurus*, *Plestiodon lynxe*, *Lepidophyma gaigae* y *L. occulor*, que pertenecen a las familias Anguidae, Scincidae y Xantusidae respectivamente (cuadro 5) y se encuentra en la parte sureste del AM (figura 5). Las especies se distribuyen en ambientes de pino encino y en altitudes que van desde los 600 hasta los 2800 msnm.



Figura 5. Áreas consenso 5-8 con tamaño de celda de 1.0 X 1.0 grados

El AC9_{1.0°} con un IE de 2.09, se recupera por dos especies de la familia Phrynosomatidae (cuadro 5) con valores de endemidad superiores a 0.9. Se encuentra en la parte sur del AM y se extiende hacia la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental (figura 6).

El AC10_{1.0°} con un IE de 1.92, está compuesta por las especies *Sceloporus aeneus* y *Lepidophyma occulor* que pertenecen a las familias Phrynosomatidae y Xantusiidae respectivamente (cuadro 5), las especies se distribuyen desde 1600 hasta 3000 msnm y se distribuyen en ambientes xéricos y de bosques de pino y pino encino. Presentan valores de endemidad de 0.7 a 0.9. Esta área se encuentra en la parte sureste del AM (figura 6).

El AC11_{1.0°} con IE de 2.05, las especies *Barisia levicollis* y *Plestiodon multilineatus* que sustentan esta área pertenecen a las familias Anguidae y Scincidae con valores de endemidad de 0.8 a 0.9 (cuadro 5). Las especies son exclusivas de bosque de pino encino y se encuentran en altitudes superiores a los 2000 msnm. Esta área se encuentra en la parte noroeste del AM y la Sierra Madre Occidental (figura 6).

El AC12_{1.0°} obtuvo un IE de 2.13, se recupera la parte noroeste del AM y el “Archipiélago Madreño”. Las especies *Heloderma suspectum* y *Phrynosoma solare* presentaron valores de endemidad superiores a 0.9 (cuadro 5), las cuales se distribuyen en matorral xerófilo, en un gradiente altitudinal que va desde el nivel de mar hasta 1700 msnm (figura 6).

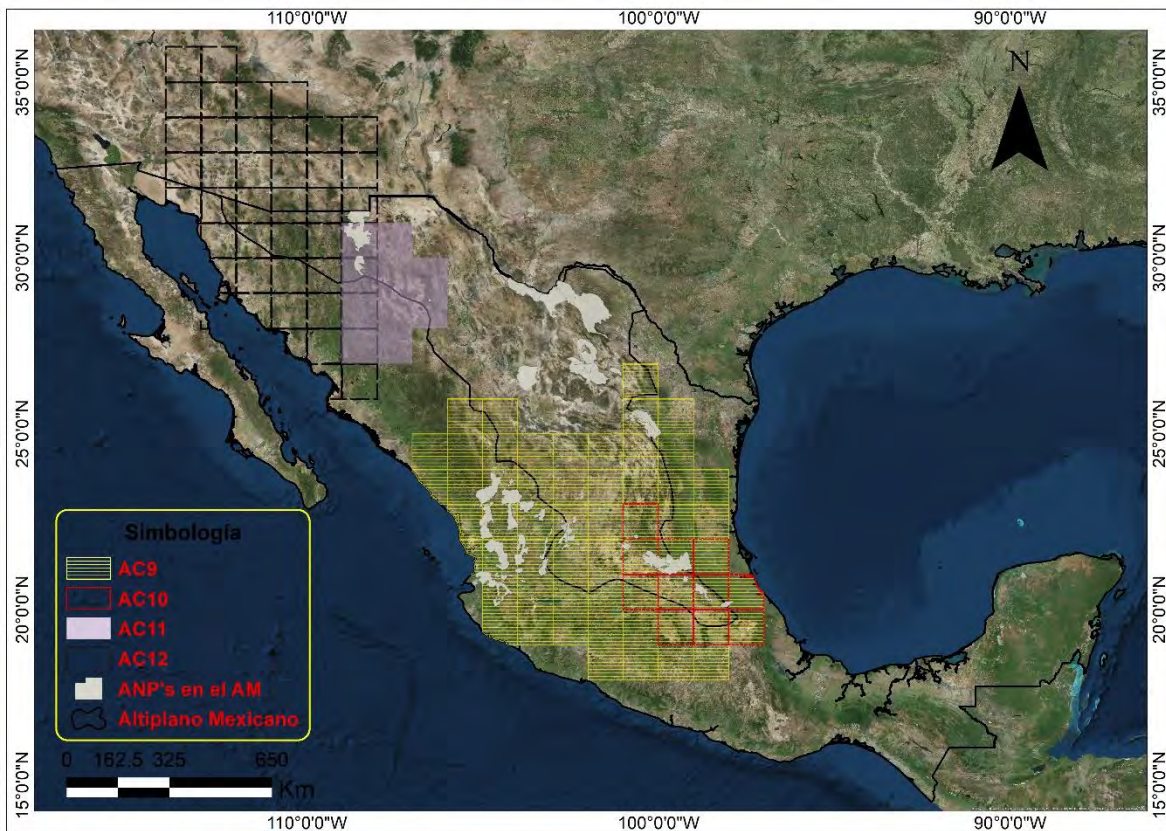


Figura 6. Áreas consenso 9-12 con tamaño de celda de 1.0 X 1.0 grados

El AC13_{1.0°} con un IE de 1.93, se encuentra en la zona centro del AM. Dos especies exclusivas de México *Gerrhonotus lugoi* y *Uma paraphygas* sustentan esta área de endemismo (cuadro 5), ambas especies se encuentran en matorral xerófilo y se distribuyen entre los 800 y 1200 msnm (figura 7).

El AC14_{1.0°} con un IE 3.44, se encuentra en la parte noroeste del AM y el “Archipiélago Madreño”, la provincia de Sonora y la Sierra Madre Occidental. Está compuesta por las especies *Holbrookia elegans*, *Sceloporus virgatus*, *Plestiodon callicephalus* y *Aspidoscelis burti* de las familias Phrynosomatidae, Scincidae, y Teiidae respectivamente (cuadro 5), las especies se distribuyen en ambientes xéricos y de bosque de pino encino a una altitud que va desde el nivel del mar hasta los 2500 msnm (figura 7).

El AC15_{1.0°} con un IE de 2.07 se encuentra en la parte sureste del AM, la Sierra Madre Oriental y la provincia del Golfo. Las especies *Gerrhonotus ophiurus* y *Hemidactylus frenatus* que pertenecen a las familias Anguidae y Gekkonidae respectivamente sustentan esta área (cuadro 5) con valores de endemismo que van de 0.8 a 1. Las especies se distribuyen en matorral xerófilo. Se encuentran desde el nivel del mar hasta 2800 msnm (figura 7).

El AC16_{1.0°} con un IE de 2.68, se encuentra en la parte este del AM y la Sierra Madre Oriental. Las especies *Barisia ciliaris*, *Sceloporus cautus* y *Sceloporus goldmani* de las familias Anguidae y Phrynosomatidae sustentan esta área de endemismo con valores de endemismo superiores a 0.7 (cuadro 5). Son exclusivas de México, y se encuentran en matorral xerófilo y bosque de pino encino. Se distribuyen desde 1500 hasta 2400 msnm (figura 7).

El AC17_{1.0°} con un IE de 3.47, se extiende en el centro del AM. Las especies *Crotaphytus antiquus*, *Sceloporus maculosus*, *Uma exsul* y el género *Xantusia* que pertenecen a las familias Crotaphytidae, Phrynosomatidae y Xantusidae respectivamente sustentan esta área de endemismo con valores de endemismo que van de 0.6 a 0.8 (cuadro 5). Las especies son exclusivas de ambientes xéricos, se distribuyen desde 1000 hasta 2000 msnm (figura 7).

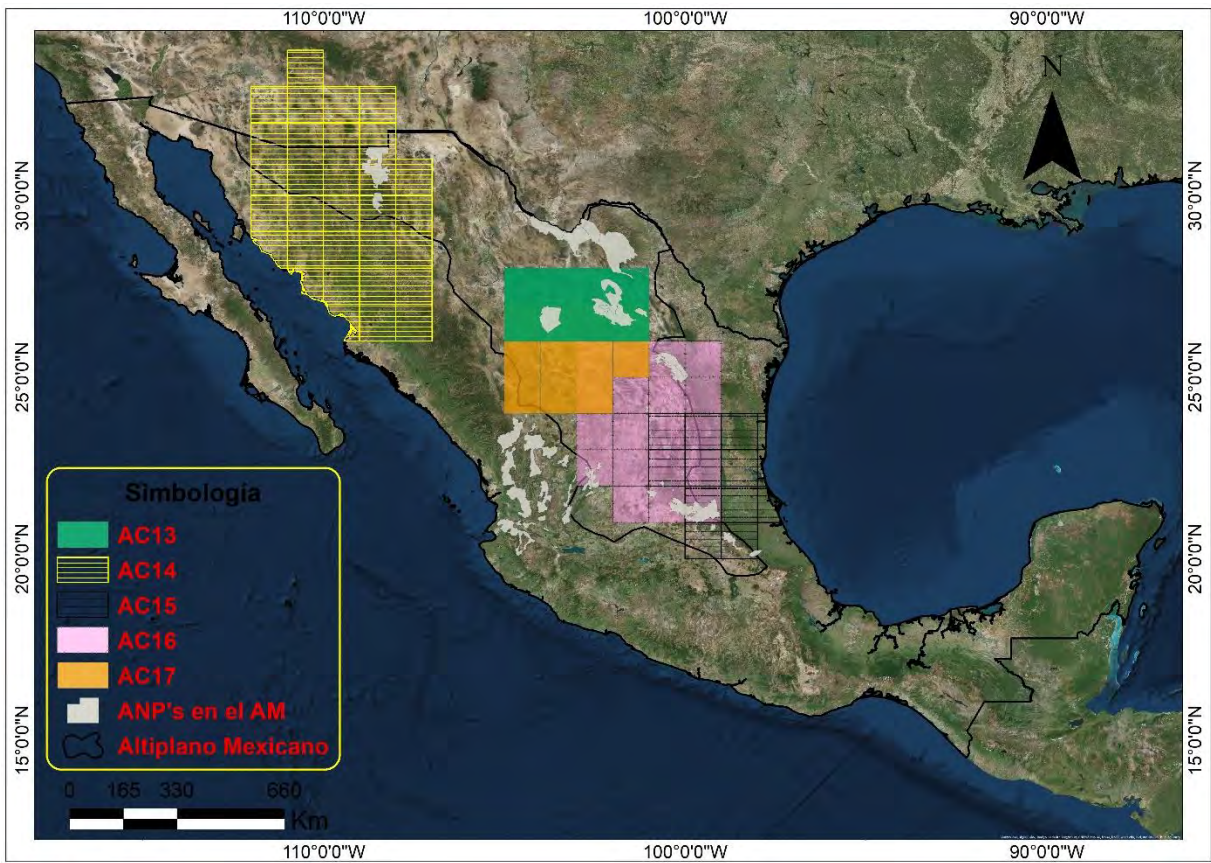


Figura 7. Áreas consenso 13-17 con tamaño de celda de 1.0 X 1.0 grados

6.4 Tamaño de celda 1.5°x1.5°

El AC18_{1.5°} con un IE de 3.60, se encuentra en la parte sureste del AM. Seis especies exclusivas de México; *Abronia taeniata*, *Gerrhonotus ophiurus*, *Sceloporus aeneus*, *Plestiodon lynxe*, *Lepidophyma gaigae* y *L. occulor* que pertenecen a cuatro familias (Anguidae, Phrynosomatidae, Scincidae y Xantusidae) sustentan esta área con valores de endemidad superiores a 0.7 (cuadro 5). Se encuentran en ambientes xéricos y bosque de pino encino, se distribuyen desde los 600 hasta 3000 msnm (figura 8).

El AC19_{1.5°} con un IE de 4.92, está compuesta por 15 especies que pertenecen a las familias Anguidae (1 sp.), Crotaphytidae (1 sp.), Helodermatidae (1 sp.), Phrynosomatidae (7 sp.), Scincidae (1 sp.) y Teiidae (4 sp.) con valores de endemidad superiores a 0.6 (cuadro 5). Se encuentra en la parte noroeste del AM, la provincia de Sonora, la Sierra Madre Occidental y de la zona del “Archipiélago Madreño” (figura 8).

El AC20_{1.5°} con un IE de 2.08, está sustentada por las especies *Coleonyx reticulatus*, *Sceloporus couchii* y *Sceloporus merriami* que pertenecen a las familias Eublepharidae y Phrynosomatidae respectivamente (cuadro 5), esta área se encuentra en la parte noreste del AM (figura 8). Las especies se distribuyen desde los 500 hasta 2000 msnm en ambientes xéricos.

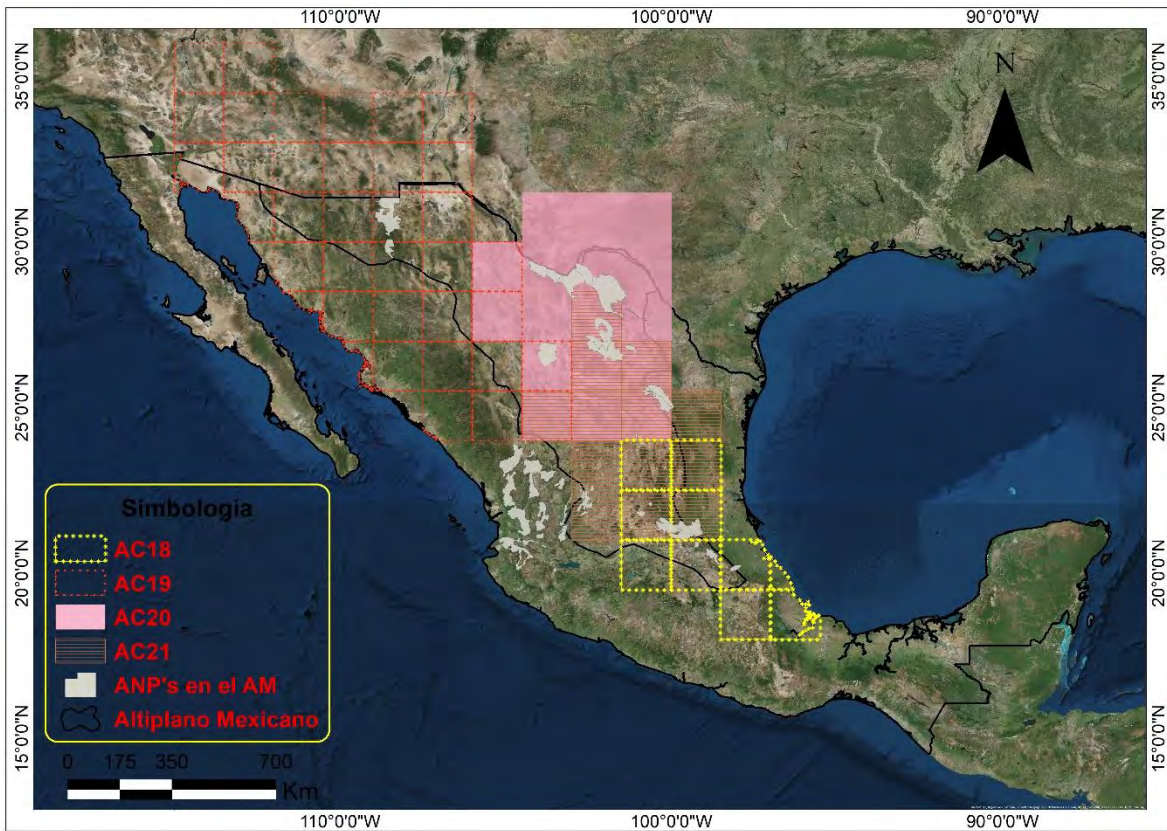


Figura 8. Áreas consenso 18-21 con tamaño de celda de 1.5 X 1.5 grados

El AC21_{1.5°} con un IE de 3.29, está compuesta por seis especies, de los géneros *Barisia* (1 sp.), *Sceloporus* (4 sp.) y *Xantusia* (1 sp.) de las familias Anguidae, Phrynosomatidae y Xantusidae respectivamente, con valores de endemividad superiores a 0.7 (cuadro 5), esta área se recupera en la parte del centro del AM. Las especies se distribuyen en bosques de pino y se encuentran a una altitud superior a los 1000 msnm (figura 8). El AC22_{1.5°} con un IE de 2.32 está compuesta por las especies *Sceloporus cyanostictus*, *S. samcolemani* y por el género *Xantusia* con valores de endemividad de 0.6 a 0.8 (cuadro 5). Se encuentra en la parte centro del AM, estas especies se distribuyen en ambientes xéricos y bosques de pino (figura 9).

El AC23_{1.5°} con un IE de 2.28, está sustentada por tres especies; *Xantusia extorris*, *Sceloporus maculosus* y *Uma exsul* de las familias Xantusidae y Phrynosomatidae, respectivamente se encuentra en la parte centro del AM (figura 9). Las especies se distribuyen en matorral xerófilo, bosque de pino y pino encino, a una altitud que va desde el nivel del mar hasta los 3000 msnm.

El AC24_{1.5°} con un IE de 3.32, está compuesta por las especies *Barisia ciliaris*, *Sceloporus cautus*, *S. minor* y *S. parvus* de las familias Anguidae y Phrynosomatidae respectivamente, con valores de endemividad superiores a 0.7 (cuadro 5). Esta área se recupera en la parte del este del AM y la Sierra Madre Oriental (figura 9).

El AC25_{1.5°} con un IE de 2.02, está compuesta por el género *Holbrookia* y la especie *Cophosaurus texanus* con valores de endemividad superiores a 0.8, esta área se recupera en la parte del centro y norte del AM además se extiende hasta el sureste de Arizona, el norte de Nuevo México y el oeste de Texas. Estas especies se distribuyen en ambiente xéricos (figura 9).

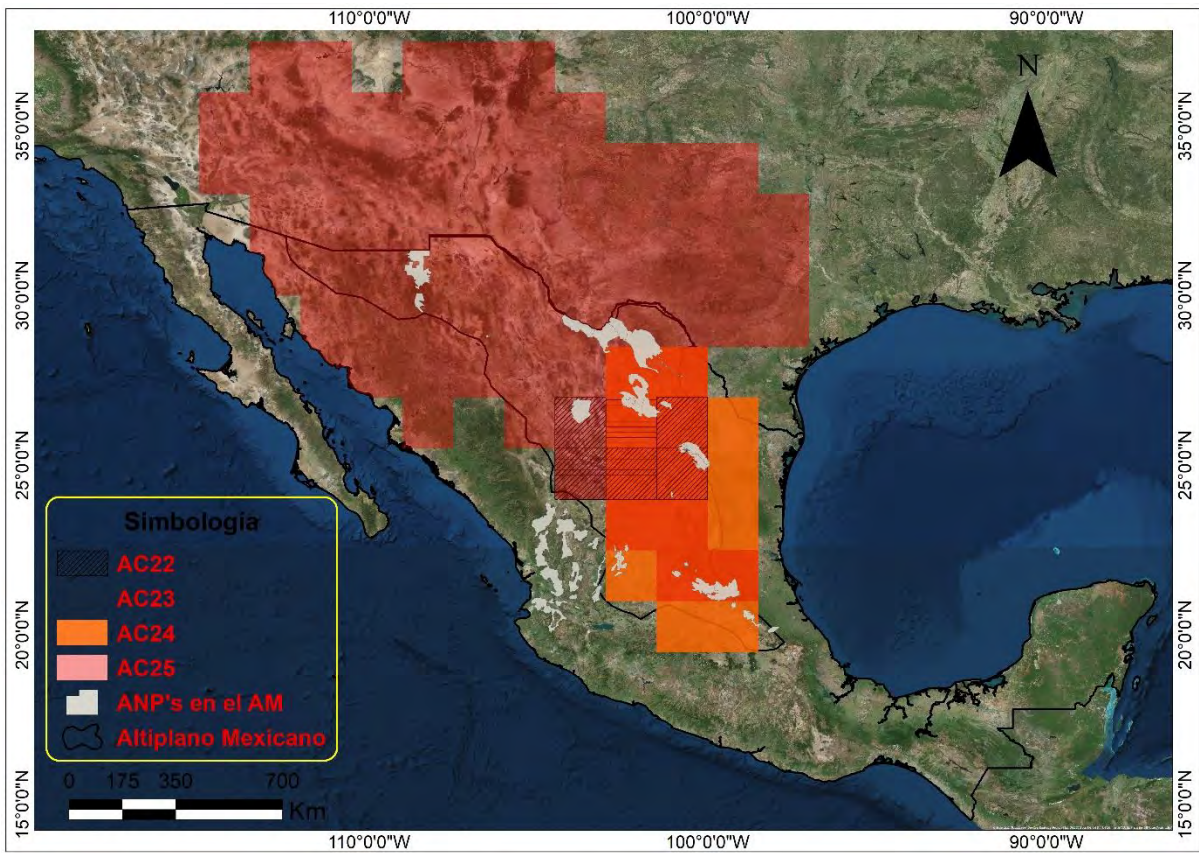


Figura 9. Áreas consenso 22-25 con tamaño de celda de 1.5 X 1.5 grados

El AC26_{1.5°} obtuvo un IE de 1.95, está sustentada por las especies *Sceloporus couchii* y *S. oregon* con valores de endemidad superiores a 0.8 (cuadro 5). Las especies se encuentran en ambientes xéricos en un gradiente altitudinal que va desde 400 hasta 2800 msnm. Esta área recupera el noreste del AM y se extiende hacia las provincias de la Sierra Madre Oriental y del Golfo (figura 10).

El AC27_{1.5°} obtuvo un IE de 2.06, está sustentada por las especies *Sceloporus scalaris* y *S. torquatus* con valores de endemidad superiores a 0.8 (cuadro 5). Esta área recupera el sur del AM. Las especies de estos géneros son exclusivas de México y se distribuyen en bosques de pino y pino encino (figura 10).

El AC28_{1.5°} obtuvo un IE de 5.41, está sustentada por las especies *Gerrhonotus lugoi*, *Crotaphytus antiquus*, *Scincella kikaapoa*, *Sceloporus maculosus*, *Uma exsul*, *U. paraphygas* y el género *Xantusia* con valores de endemidad superiores a 0.6 (cuadro 5). Las especies se distribuyen en ambientes xéricos. Esta área recupera la parte centro del AM (figura 10).

El AC29_{1.5°} obtuvo un IE de 1.85, está sustentada por las especies *Gerrhonotus ophiurus* y *Hemidactylus frenatus* con valores de endemidad que van de 0.7 a 0.9 (cuadro 5). Las especies se encuentran en diferentes tipos de vegetación desde matorral xerófilo, bosque de pino hasta zonas tropicales (figura 10).

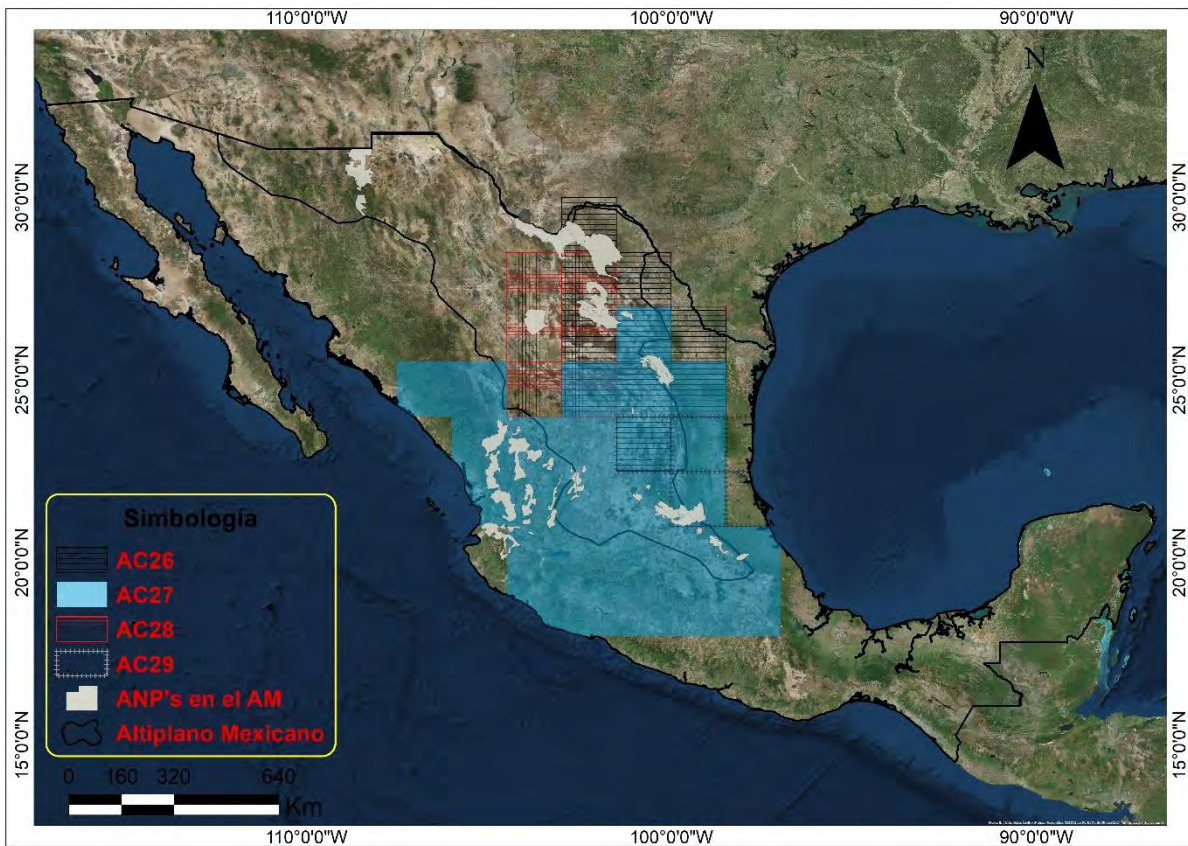


Figura 10. Áreas consenso 26-29 con tamaño de celda de 1.5 X 1.5 grados

El AC30_{1.5°} obtuvo un IE de 1.98, está sustentada por las especies *Crotaphytus reticulatus* y *Sceloporus cyanostictus* que pertenecen a las familias Crotaphytidae y Phrynosomatidae, respectivamente con valores de endemividad superiores a 0.7 (cuadro 5) (figura 11).

El AC31_{1.5°} obtuvo un IE de 2.64, está sustentada por las especies *Plestiodon multilineatus*, *Phrynosoma ditmarsii* y *Sceloporus virgatus* de las familias Scincidae y Phrynosomatidae con valores de endemividad que van desde 0.6 hasta 1.0. Las especies que sustentan esta área de endemividad se distribuyen en ambientes xéricos y de bosque de pino encino en altitudes que van desde 900 hasta 2500 msnm. Esta área recupera la parte noroeste del AM (figura 11).

El AC32_{1.5°} obtuvo un IE de 2.03, está sustentada por las especies *Holbrookia approximans* y *Phrynosoma modestum* con valores de endemividad que van de 0.8 a 0.9 (cuadro 5), estas especies se distribuyen en ambientes xéricos. Esta área recupera en su totalidad el AM y se extiende hacia la zona del “Archipiélago Madreño” en Arizona, norte de Nuevo México y el oeste de Texas (figura 11).

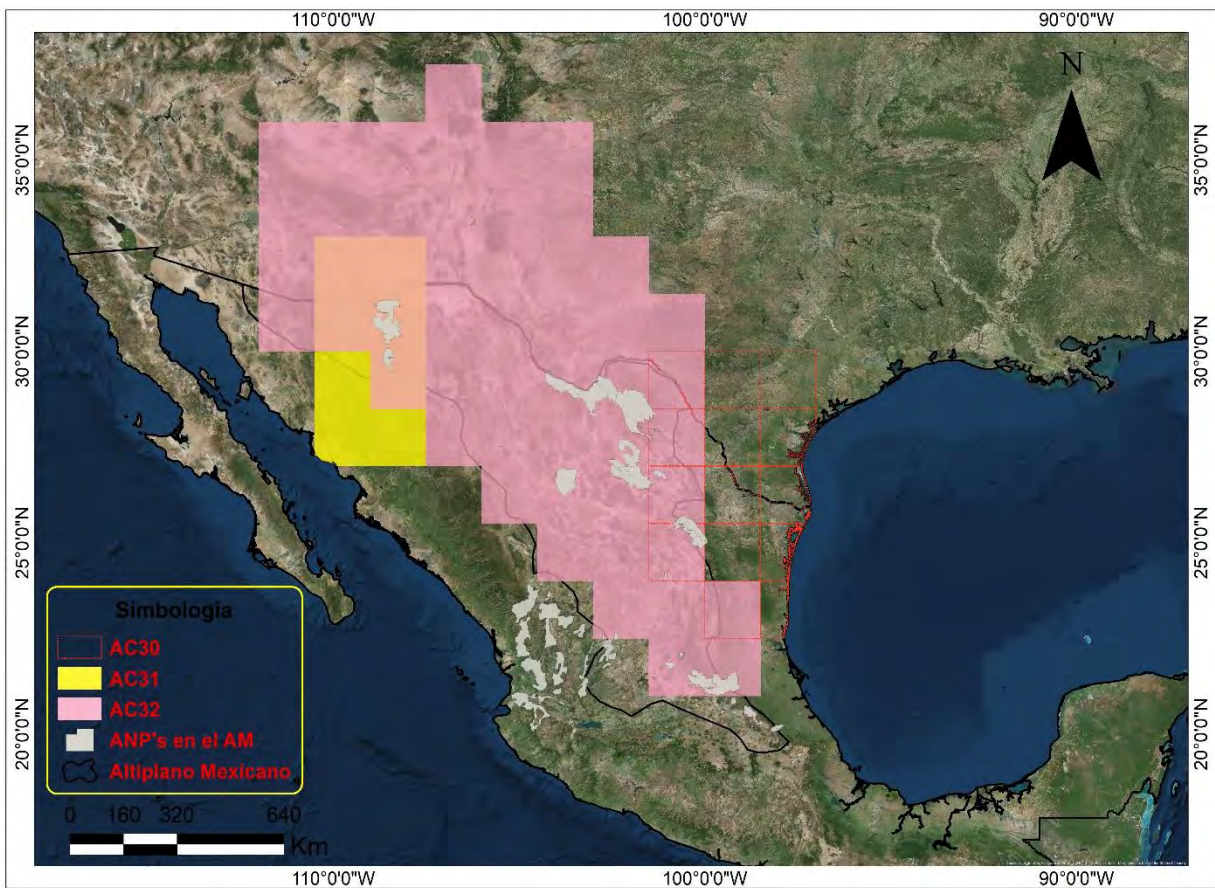


Figura 11. Áreas consenso 30-32 con tamaño de celda de 1.5 X 1.5 grados

El AC33_{1.5°} obtuvo un IE de 1.95, está sustentada por las especies *Barisia levicollis* y *Plestiodon multilineatus* con valores de endemidad que van de 0.8 a 0.9 (cuadro 5). Las especies son exclusivas de bosque de pino encino y se pueden encontrar entre los 2000 y 3000 msnm. Esta área recupera la parte noroeste del AM (figura 12).

El AC34_{1.5°} obtuvo un IE de 3.15, está sustentada por las especies *Gerrhonotus lugo*, *Scincella kikaapoa*, *Coleonyx reticulatus* y el género *Uma* con valores de endemidad superiores a 0.6 (cuadro 5). Las especies y el género que sustentan esta área son exclusivas de matorral xerófilo. Esta área recupera la parte centro del AM (figura 12).

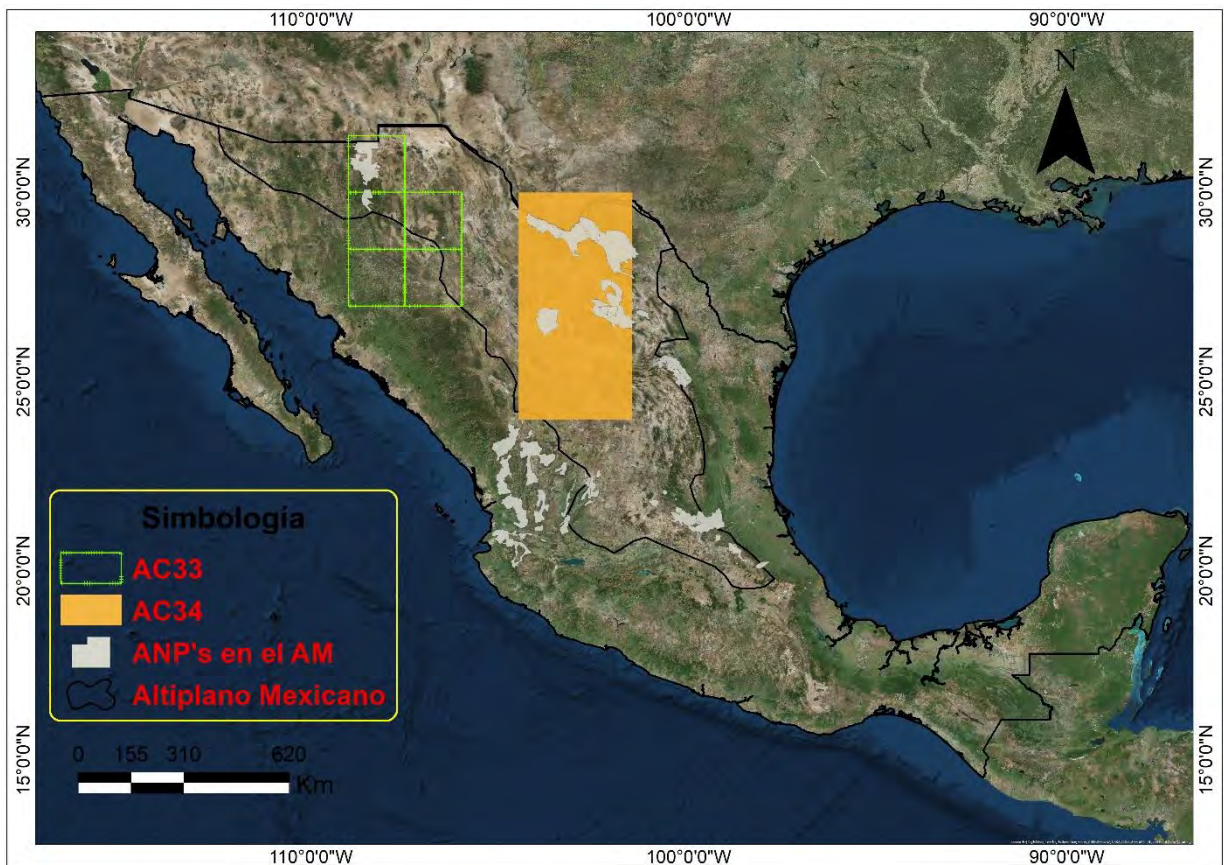


Figura 12. Áreas consenso 33-34 con tamaño de celda de 1.5 X 1.5 grados

6.5 Taxones superiores

De las 34 áreas de endemismo identificadas por el análisis de endemidad solo ocho áreas (AC2_{0.5}[°], AC5_{1.0}[°], AC6_{1.0}[°], AC17_{1.0}[°], AC22_{1.5}[°], AC25_{1.5}[°], AC28_{1.5}[°], AC34_{1.5}[°]) se conforman por taxones superiores principalmente por los géneros *Holbrookia*, *Uma* y *Xantusia*. Por otra parte, ninguna de las áreas de endemismo identificadas en este análisis se recuperó a nivel de familia, es decir, ninguna familia de lagartijas tuvo distribución congruente para formar áreas de endemismo, por lo que la composición taxonómica de las áreas de endemismo fue principalmente a nivel de especie y género.

Se observó que los géneros *Uma* y *Xantusia* se ajustan mejor que sus taxones inferiores (especies), es decir, cuando las distribuciones de los taxones inferiores se superponen, éstos se ajustan de una mejor manera a las celdas evaluadas y forman áreas de endemismo mejor representadas, como por ejemplo el AC28_{1.5}[°] que está sustentada por las especies *Gerrhonotus lugoi*, *Crotaphytus antiquus*, *Scincella kikaapoa*, *Sceloporus maculosus*, *Uma exsul*, *U. paraphyas* y el género *Xantusia*, además presenta el mayor índice de endemidad (5.41) para este tamaño de celda.

Otro resultado importante se observa en un área de endemismo grande (AC25_{1.5}[°]) que se extiende hacia el sur de Estados Unidos que abarca al sureste de Arizona, norte de Nuevo México y el oeste de Texas, esta área se recupera con la especie *Cophosaurus texanus* y el género *Holbrookia*. En esta área se puede observar que ninguno de los taxones inferiores del género *Holbrookia* forman áreas de endemismo, sin embargo, cuando se considera el taxón superior permite delimitar áreas de endemismo de mayor extensión.

6.6 Áreas prioritarias para la conservación y análisis de discrepancias

Para el tamaño de celda de 0.5° se seleccionó como área prioritaria para la conservación el AC2_{0.5}[°] que se encuentra en el centro del AM porque tuvo el IE más alto para este tamaño de celda (figura 15). Esta área de endemismo está sustentada por las especies *Crotaphytus antiquus*, *Sceloporus maculosus* y el género *Xantusia*, estas especies se distribuyen en un nivel altitudinal que va desde los 1000 hasta los 2000 msnm, son exclusivas de matorral xerófilo y son de hábitos terrestres. El AC2_{0.5}[°] mostró congruencia parcial con el área natural protegida de Mapimí.

Con un tamaño de celda de 1.0° se seleccionó el AC8 $_{1.0^\circ}$ que está sustentada por cuatro especies exclusivas a México (*Gerrhonotus ophiurus*, *Plestiodon lynxe*, *Lepidophyma gaigeae* y *L. occulor*), estas especies son exclusivas de bosque de pino y pino encino, en un gradiente altitudinal que va desde los 500 hasta los 2800 msnsm. Esta área de endemismo se encuentra en sureste del AM, esta área se extiende hacia las provincias biogeográficas de la Sierra Madre Oriental y la provincia del Golfo se seleccionó como área prioritaria para su conservación por presentar el más alto IE. El análisis de discrepancias para el AC8 $_{1.0^\circ}$ mostró que 10 ANP se encuentran dentro de esta área de endemismo.

El AC28 $_{1.5^\circ}$ con un tamaño de celda de 1.5° que se encuentra en el norte del AM y sustentada por seis especies y un género se seleccionó como área prioritaria para la conservación por presentar el mayor IE con este tamaño de celda. El análisis de discrepancias mostró que el AC28 $_{1.5^\circ}$ presenta congruencia con cuatro ANP que abarcan los estados de Coahuila, Chihuahua y Durango (figura 15),

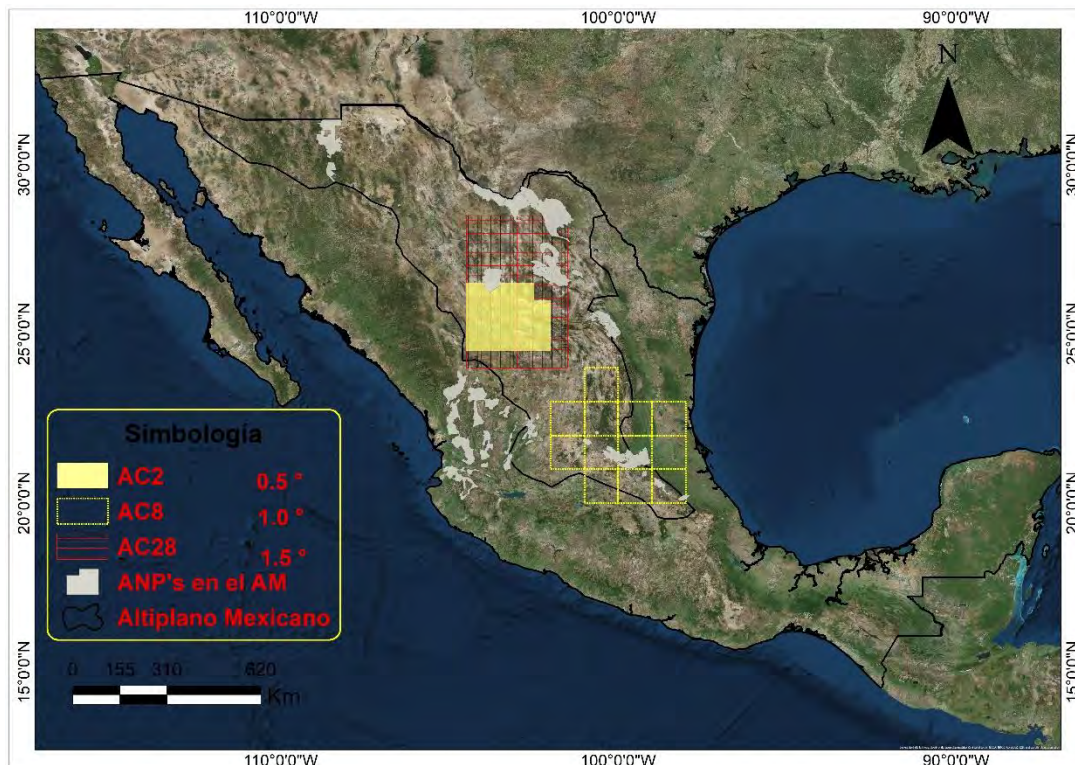


Figura 13. Áreas consenso seleccionadas como áreas prioritarias para la conservación.

6.7 Tiempos de divergencia

Se muestran los tiempos de divergencia de los taxones que sustentan las AC que fueron seleccionadas como áreas prioritarias para la conservación (cuadro 6). Las especies que sustentan el AC2_{0.5} presentaron dos tiempos de divergencia; durante el Mioceno divergieron las especies *Crotaphytus antiquus* y *Sceloporus maculosus* (Wiens y Lambert, 2015; Leaché et al. 2015) y en el Cretácico divergió el género *Xantusia* (Norris, 1958; Noonan et al. 2013). Estos tiempos de divergencia están relacionados con diferentes eventos geológicos especialmente eventos de vulcanismo y el surgimiento de la Sierra Madre Occidental durante el Mioceno por lo que probablemente quedaron aislados en el AM (Norris, 1958).

El AC8_{1.0}° presentó tres tiempos de divergencia (cuadro 6); durante el Mioceno divergió la especie *Gerrhonotus ophiurus* (García-Vázquez com. pers.), en el Pleistoceno divergió la especie *Plestiodon lynxe* (Brandley et al. 2011) y las especies *Lepidophyma gaigeae* y *L. occulur* divergieron durante el Eoceno (Vicario et al. 2003). Estos tiempos de divergencia probablemente pudieron estar relacionados con los eventos de cambio climático del Eoceno, la actividad volcánica en el Mioceno y el periodo glacial durante el Pleistoceno que ocurrieron en el AM (Norris, 1958; Vicario et al. 2003).

Finalmente, el AC28_{1.5}° presentó tres tiempos de divergencia diferentes (cuadro 6); las especies *Uma exsul* y *Gerrhonotus lugoi* divergieron en el Plioceno (Adest, 1977; García-Vázquez com. pers.), las especies *Crotaphytus antiquus* y *Sceloporus maculosus* divergieron durante el Mioceno (Wiens y Lambert, 2015; Leaché et al. 2015) y el género *Xantusia* divergió en el Cretácico (Noonan et al. 2013). En el Mioceno ocurrieron eventos geológicos y de vulcanismo, durante el Cretácico hubo un levantamiento de montañas y planicies que dieron origen a las serranías conocidas como la Isla de Coahuila y la Península de Tamaulipas que permitieron el aislamiento de algunos taxones en esta zona del AM (Norris, 1958; Ferrusquía-Villafranca, 1998).

Cuadro 6. Áreas de endemismo seleccionadas para su conservación con los tiempos de divergencia de los taxones. AC = Área consenso; Categorías IUCN; Vulnerable (VU), Menor preocupación (LC), Información deficiente (DD), No evaluado (NT), Peligro de extinción (EN). Categoría NOM-059; Protección especial (Pr), Peligro de extinción (P). Estrato temporal; Divergencia (D).

AC	Categoría de conservación		ET	Literatura
AC2	IUCN	NOM-059	D	
<i>C. antiquus</i>	EN	Pr	Mioceno (8.8 Ma)	Wiens y Lambert, 2015
<i>S. maculosus</i>	VU	P	Mioceno (8.6-4.1 Ma)	Leaché et al. 2016
Género <i>Xantusia</i>	----	----	Cretácico-Mesozoico (71 Ma)	Noonan et al. 2013
AC8				
<i>G. ophiurus</i>	LC	----	Mioceno (8 Ma)	García-Vázquez (com. pers.)
<i>P. lynxe</i>	LC	Pr	Pleistoceno (1.1 Ma)	Brandley et al. 2011
<i>L. gaigeae</i>	VU	Pr	Eoceno (52-43 Ma)	Vicario et al. 2003
<i>L. occulor</i>	LC	Pr	Eoceno (52-43 Ma)	Vicario et al. 2003
AC28				
<i>G. lugoi</i>	LC	A	Plioceno (4.5 Ma)	García-Vázquez, (com. pers.)
<i>C. antiquus</i>	EN	Pr	Mioceno (8.8 Ma)	Wiens y Lambert, 2015
<i>S. maculosus</i>	VU	P	Mioceno (8.6-4.1 Ma)	Leaché et al. 2016
<i>S. kikaapoa</i>	NE	----	----	----
<i>U. exsul</i>	EN	P	Plioceno (4.5 Ma)	Adest, 1977
<i>U. paraphygas</i>	NT	Pr	Plioceno (3.5 Ma)	Adest, 1977
Género <i>Xantusia</i>	----	----	Cretácico-Mesozoico (71 Ma)	Noonan et al. 2013

7. Discusión

7.1 Análisis de endemidad

En el presente trabajo se identificaron las áreas de endemismo de las 9 familias de lagartijas que se distribuyen en el Altiplano Mexicano, las cuales representan hipótesis sobre la distribución congruente de al menos dos taxones (Platnick, 1991). Las áreas de endemismo con el tamaño de celda de 1.5° aquí descritas permitieron dividir a la provincia del Altiplano Mexicano en dos zonas, sur y norte. Las AC18_{1.5°} y AC21_{1.5°} delimitan al sur del Altiplano Mexicano, esto coincide con la propuesta de la provincia Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino) de Arriaga et al. (1997), también coincide con la propuesta de Escalante et al. (2009) provincia Sur del Altiplano Mexicano y con la propuesta de la provincia Zacatecana de Ramírez-Pulido y Castro-Campillo (1990). Las AC19_{1.5°} y AC20_{1.5°} delimitan al norte del AM, estas áreas de endemismo coinciden con la propuesta del Altiplano Norte de Arriaga et al. (1997), con la propuesta de Escalante et al. (2003) como Altiplano Norte, la propuesta del Altiplano Mexicano por Escalante et al. (2007b), la propuesta de Altiplano Noreste por Escalante et al. (2009) y la propuesta del AM por González-López (2011).

El AC25_{1.5°} recuperada por la especie *Crotaphytus texanus* y el género *Holbrookia* y la AC32_{1.5°} recuperada por las especies *Holbrookia approximans* y *Phrynosoma modestum* fueron congruentes con la propuesta biogeográfica del Altiplano Mexicano de Morrone (2001b, 2004b, 2005, 2006). Las AC13_{1.0°}, AC15_{1.0°}, AC16_{1.0°} y AC17_{1.0°} coinciden con la propuesta del Altiplano Mexicano de Morrone et al. (2017) las cuales se realizaron con base en la combinación de criterios ecológicos, geológicos y bióticos. Por otro lado, el trabajo de Escalante et al. (2013) sobre las regiones biogeográficas de Norteamérica con base en la identificación de áreas de endemismo de mamíferos muestran coincidencia con el AC25_{1.5°} y el AC32_{1.5°} donde el Altiplano Mexicano se extiende el sur de Estados Unidos. Recientemente Fernández-Badillo (2013) analizó las áreas de endemismo de serpientes y lagartijas de los desiertos de México. El AC20_{1.5°} coincide con la propuesta de Altiplano norte-oeste de Fernández-Badillo (2013). El AC34_{1.5°} también coincide con la propuesta de Altiplano Norte.

Otro resultado importante del análisis de endemidad fue que las áreas de endemismo identificadas fueron de afinidades a los ambientes áridos y características bióticas de la región Neártica, además de que un número de áreas de endemismo se encuentran en otras provincias biogeográficas como la de Sonora (AC12_{1.0°}), la Sierra Madre Occidental (AC31_{1.5°}), la Sierra Madre Oriental (AC8_{1.0°}), de Tamaulipas (AC26_{1.5°}) y el Golfo (AC29_{1.5°}). Esto coincide con el trabajo por Munguía-Lino et al. (2016), donde identificaron las áreas de endemismo de especies norteamericanas de Tigridaeae (Iridaceae). Los autores mencionan que las áreas de endemismo identificadas para el norte de México corresponden con la provincia biogeográfica del Altiplano Mexicano, además de que algunas áreas de endemismo se encontraron hacia la Sierra Madre Oriental, por lo que los autores concluyeron que las áreas de endemismo identificadas para el AM de Tigridaeae son de afinidades bióticas Neárticas (Nelson, 2008) y sugieren que el AM podría funcionar como un corredor biológico para estos taxones por la distribución del género *Nemastylis* ya que conecta a Guatemala, México y Estados Unidos a través de las provincias del Golfo, Altiplano Mexicano y Tamaulipas.

Los patrones de endemismo anteriormente mencionados aunados a los resultados aquí descritos indican que el Altiplano Mexicano puede ser caracterizado como una unidad biogeográfica natural. Además, las lagartijas resultaron ser un excelente modelo para la identificación de estos patrones, por lo que estos taxones pueden ser analizados desde enfoques biogeográficos (Espinosa-Organista et al. 2002).

7.2 Efecto del tamaño de celda

El uso de diferentes tamaños de celda parece la mejor opción para la identificación de áreas de endemismo, ya que permite encontrar diferentes patrones de distribución en diferentes escalas (Casagrande et al. 2009). Para este caso el tamaño de celda de 1.5° resultó ser la mejor opción para dividir al AM en sur y norte, ya que las AC18_{1.5°}, AC19_{1.5°}, AC20_{1.5°} y AC21_{1.5°} representan áreas continuas parcialmente superpuestas. Otros patrones importantes encontrados con este tamaño de celda fueron las AC25_{1.5°} y AC32_{1.5°} que delimitan al AM hacia el sur de Estados Unidos lo que coincide con otras propuestas (Arriaga et al. 1997; Escalante

et al. 2003, 2007b, 2009, González-López, 2011). Por otro lado, las áreas de menor tamaño (AC1_{0.5°}, AC2_{0.5°}, AC3_{0.5°} y AC4_{0.5°}) resultaron en áreas locales que presentaron un menor número de celdas y valores endemidad bajos, lo que coincide con lo encontrado en otros trabajos, en los que se utilizaron tamaños de celda pequeños para la identificación de áreas de endemismo (Aagesen et al. 2009; Casagrande et al. 2009; Navarro et al. 2009; Aegense et al. 2012; Szumik et al. 2012; Sandoval y Ferro, 2014; DaSilva et al. 2015; do Prado et al. 2015; Elías y Aagesen, 2016; Hoffmeister y Ferrari, 2016; Weirauch et al. 2016; Garraffoni et al. 2017).

Los resultados de la elección de distintos tamaños de celda, muestran similitud con estudios previos que se han realizado en el norte de México y Estados Unidos. Por ejemplo, Fernández-Badillo (2013) utilizó un tamaño de celda de 1° e identificó 17 áreas de endemismo de escamados para los desiertos de México. El AC12_{1.0°} es similar al Ac10 de Fernández-Badillo (2013) y son áreas que recuperan la parte noroeste de México. También las AC14_{1.0°}, AC20_{1.5°}, AC25_{1.5°}, AC26_{1.5°} y AC31_{1.5°} son similares con las Ac 16, 17, 2, 4 y 11 del mismo autor.

Escalante et al. (2013) identificaron 21 áreas consenso con mamíferos de Norte América con un tamaño de celda de 2°. Las AC25_{1.5°} y AC32_{1.5°} aquí descritas son similares con el Ac45 de Escalante et al. (2013): estas áreas de endemismo recuperan en su totalidad al Altiplano Mexicano, donde se puede observar que el límite de la provincia se extiende hacia el sur de Estados Unidos. El análisis de endemidad de Weirauch et al. (2016) recuperan al AM con un tamaño de celda de 2° con base en la distribución de un grupo de insectos (Miridae) y plantas que son hospederos de estos insectos de la región Neártica. Los autores describen un área de endemismo como la del Altiplano Mexicano, Suroeste de Estados Unidos y Baja California, lo que coincide con las AC25_{1.5°} y AC32_{1.5°} aquí descritas.

De acuerdo con lo anterior, al utilizar diferentes tamaños de celda durante el análisis de endemidad, las áreas de endemismo identificadas en este estudio permitieron proponer que el AM debe extenderse más allá del límite geopolítico del norte de México. Es decir, el AM debe incluir el suroeste de Estados Unidos

abarcando el Archipiélago Madreño en Arizona, a través del cañón Chaco que corresponde al norte de Nuevo México y las planicies del oeste de Texas.

7.3 Taxones superiores

Las áreas de endemismo resultaron importantes cuando se utilizó a los taxones superiores durante el análisis de endemidad. En este estudio los géneros de las lagartijas del AM presentaron mayor congruencia en su distribución lo que permitió delimitar de una mejor manera las áreas de endemismo, lo que coincide con lo descrito por Szumik y Goloboff (2015) quienes mencionaron que biogeográficamente existe anidamiento de los taxones al utilizar el análisis de endemidad, es decir, que la congruencia de los taxones superiores pueden contribuir un mayor valor de endemidad.

El análisis de endemidad permitió identificar ocho áreas de endemismo que fueron recuperadas principalmente con los géneros *Holbrookia*, *Uma* y *Xantusia* (AC20.5°, AC51.0°, AC171.0°, AC221.5°, AC251.5°, AC281.5°, AC341.5°) esto indica que existe un patrón donde la distribución de los taxones superiores se ajusta de mejor manera que los taxones inferiores (especies) a las celdas evaluadas, lo que coincide con lo mencionado por Szumik y Goloboff (2015) que al analizar un taxón superior se obtienen mejores áreas de endemismo. Por ejemplo, el AC251.5° está compuesta por la especie *Crotaphytus texanus* y por el género *Holbrookia*. En esta área de endemismo ninguna de las especies individuales del género *Holbrookia* fueron congruentes en su distribución para formar un área de endemismo, sin embargo, cuando se utilizó el género tuvo un mejor ajuste en la distribución con la especie *C. texanus*. Por otro lado, cuando se analizaron las familias de las lagartijas del AM, no formaron áreas de endemismo a este nivel taxonómico. Una posible explicación se podría atribuir a la amplia distribución que presentan algunos taxones, como, por ejemplo, la familia Phrynosomatidae que se distribuye desde Canadá hasta Panamá, resultaría difícil que todos los taxones de esta familia muestren distribución con alguna otra familia de lagartijas. Con este resultado se podría inferir que no en todos los casos los taxones superiores permiten definir e identificar las áreas de endemismo.

Otro dato importante que describieron Szumik y Goloboff (2015) es que cuando se analizan los taxones superiores se identifican áreas de endemismo más extensas, en este caso el AC25^{1.5°} es un área de endemismo que incluye el norte del Altiplano Mexicano, el sureste de Arizona, el norte de Nuevo México y el oeste de Texas donde el género *Holbrookia* tuvo un mejor ajuste en la distribución que las especies individuales que conforman el género.

7.4 Áreas prioritarias para la conservación y análisis de discrepancias

Los métodos biogeográficos para identificar áreas prioritarias para la conservación han sido relevantes en los últimos años (Whittaker et al. 2005). Anteriormente se realizaban trabajos de conservación donde se consideraba únicamente a las especies endémicas o especies vulnerables sin un fundamento histórico (Luna-Vega et al. 2010).

El análisis de discrepancias de las áreas de endemismo que fueron seleccionadas para la conservación mostraron congruencia con las ANP del Altiplano Mexicano. En el trabajo Ochoa-Ochoa y Flores-Villela (2006) donde identificaron áreas ricas en endemismo de anfibios y reptiles de México, el análisis de discrepancias que realizaron mostró que las ANP presentan poca coincidencia con las áreas de endemismo de estos taxones.

El análisis de discrepancias para el AC2^{0.5°} mostró una congruencia parcial con el ANP de Mapimí, sin embargo, ninguna de las especies que sustentan esta área de endemismo se encuentra en el ANP de Mapimí, es decir, existen pocas ANP en esta área de endemismo para la conservación de lagartijas en el AM y de aquí la importancia de proponer el AC2^{0.5°} para la conservación. Las especies *Crotaphytus antiquus* y *Sceloporus maculosus* se encuentran sujetas a “protección especial” (Pr) bajo la NOM-059 en México y en “peligro de extinción” y “vulnerable” de acuerdo con la IUCN. Mientras que de las especies del género *Xantusia* (*X. bolsonae* y *X. extorris*) solo *X. bolsonae* se encuentra en la categoría de “peligro de extinción” (P) y bajo la IUCN como “información deficiente” (DD). La especie *X. extorris* no se encuentra en alguna categoría de la NOM-059 y de acuerdo con la IUCN se encuentra en la categoría de “preocupación menor” (LC).

El análisis de discrepancias para el AC8_{1.0°} mostró congruencia con 10 ANP del AM, por lo tanto, los esfuerzos de conservación de lagartijas para esta área de endemismo se encuentran bien representados. Estas ANP abarcan los estados de San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Puebla, lo que demuestra que existe una alta congruencia de las ANP en esta área de endemismo. Por otro lado, las cuatro especies que sustentan esta área de endemismo son endémicas de México. Todas las especies de esta área de endemismo se encuentran bajo la categoría de “protección especial” (Pr) con excepción de *Gerrhonotus ophiurus* que no se encuentra en la NOM-059. Mientras que para la IUCN todas las especies se encuentran bajo la categoría de “preocupación menor” (LC), con excepción de *Lepidophyma gaigeae* que se encuentra categorizada como “vulnerable” (VU).

El análisis de discrepancias para el AC28_{1.5°} mostró congruencia con cuatro ANP del AM por lo que los esfuerzos de conservación para las lagartijas en esta área de endemismo están bien representados. Por otro lado, la especie *Gerrhonotus lugoi* se encuentra en la NOM-059 como especie “Amenazada” (A). *Uma exsul* de acuerdo con la NOM-059 se encuentra como especie en “Peligro de Extinción” (P), *Uma paraphygas* como especie “Sujeta a Protección Especial” (Pr) y la especie *Scincella kikaapoa* no se encuentra en ninguna categoría en la NOM-059 mientras que la IUCN la tiene considerada como especie “No Evaluada” (NE).

Los resultados del análisis de discrepancias de las lagartijas del AM, coincide con el trabajo de Bernardo-Vázquez y Valenzuela-Galván (2009) quienes estudiaron la efectividad de las ANP del país para la mastofauna mexicana y reportaron que el 84 % de las especies se encuentran en alguna ANP. Sin embargo, una quinta parte de las especies endémicas no se encuentran dentro de una ANP. También discutieron que el mayor número de ANP en México se encuentran en el sur del país, por lo que la representatividad de estas áreas para la conservación de los taxones no es homogénea en el país. En este caso las AC8_{1.0°} y AC28_{1.5°} se encuentran bien representadas por las ANP del AM, por lo que las estrategias de conservación para las lagartijas en la parte norte de México son eficaces.

7.5 Tiempos de divergencia

Los tiempos de divergencia de los taxones que sustentan las tres áreas de endemismo propuestas para la conservación en el AM corresponden al Cretácico (65-88.5 Ma), Eoceno (35.4-56.5 Ma), Mioceno (5.2-23.3 Ma), Plioceno (1.6-5.2 Ma) y Pleistoceno (0.1-1.6 Ma). Durante estos tiempos sucedieron distintos eventos geológicos y climáticos los cuales podrían explicar la distribución actual de los taxones.

Durante el Cretácico en el desierto Chihuahuense surgió el Canal de Chihuahua, debido a una transgresión marina durante aquel período, lo cual está documentado por la evidencia de sedimentación de un mar epicontinental con un fondo topográfico heterogéneo (Ferrusquía-Villafranca, 1998). Durante el Cenozoico (Oligoceno 23.3-35.4 Ma), existió una alta actividad volcánica en el norte del desierto Chihuahuense donde se tiene registrada la única fauna de vertebrados que quedó aislada para esta región (Ferrusquía-Villafranca, 1998). Durante el Eoceno hubo un cambio drástico en el clima de Norteamérica, el cual fue caracterizado por grandes aumentos en la humedad en los ecosistemas terrestres (Greenwood y Wing, 1995; Wolfe et al. 1998).

Durante el Mioceno temprano surgieron los desiertos del norte de México y Estados Unidos, por el levantamiento de la Sierra Madre Occidental (SMO) en la parte oeste de México y en el sur de Estado Unidos. En esta misma época existió una gran actividad tectónica en la falla de San Andrés la cual cambió drásticamente la topografía de la costa de California (Gámez et al. 2016), lo que pudo haber permitido el aislamiento de algunos taxones de lagartijas en el AM el cual se estaba transformando en una región más xérica como resultado de la creciente de lluvias que se formaba de las cordilleras del este (Sierra Madre Oriental) y oeste (Sierra Madre Occidental) (Riddle et al. 2000). Estos eventos coinciden con los estudios de Morafka (1977) y Riddle (1995), quienes evaluaron los eventos vicariantes del Pleistoceno que separaron la herpetofauna y los roedores respectivamente de los desiertos continentales (Sonora, Sinaloa y Mojave) y quedaron aislados en el desierto (Chihuahuense), debido al surgimiento de la Sierra Madre Occidental.

En el Plioceno hubo eventos importantes que marcaron un ambiente árido durante esta época en el sur de Estados Unidos que modificó la distribución de algunos taxones quedando aislados en el AM (Bezy y Cole, 2014; Gámez et al. 2016) además los cambios climáticos crearon un efecto de “doble de lluvia” que contribuyó a la formación árida en los desiertos de Mojave, Chihuahua y Sonora (Gámez et al. 2016). Estos aislamientos coinciden con los mencionados por Morafka (1977), Riddle (1995) y Riddle et al. (2000).

Durante el Pleistoceno sucedieron eventos geológicos importantes como el surgimiento de la Sierra Nevada en los Estados Unidos, elevaciones montañosas en la gran cuenca y la meseta del Colorado en Estados Unidos y surgió el desierto de Mojave lo que dio lugar al aislamiento de algunos taxones como las lagartijas del género *Uma* que quedaron aisladas en el AM debido a estos sucesos geológicos (Norris, 1958). Estos eventos coinciden con lo mencionado por Katinas et al. (2004) quienes sugieren que durante el Cuaternario (Pleistoceno tardío y Holoceno) hubo eventos de glaciación, un calentamiento global y finalmente un periodo interglaciar, los cuales contribuyeron a la fragmentación de los pastos formando refugios aislados en el AM, los cuales pudieron modificar las áreas de distribución de estos taxones (Katinas et al. 2004). Durante el Oligoceno y el Plioceno, surgió una cordillera montañosa en el oeste de Norteamérica, que incluye las montañas rocosas, la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental. Esto dio origen a climas fríos y lluviosos que resultaron en el desarrollo de pastizales de Norte América (Sanmartín et al. 2001).

Las áreas de endemismo propuestas en el presente estudio pueden ser resultado de eventos históricos (como se mencionó en los párrafos anteriores) que fragmentaron la distribución ancestral de las lagartijas (independientemente de sus capacidades ecológicas) dieron origen a la congruencia espacial actual entre los taxones (Espinosa-Organista et al. 2002). Finalmente, la complejidad de los eventos geológicos, fisiográficos y climáticos que ocurrieron Altiplano Mexicano aunado a los tiempos de divergencia de los taxones, permiten explicar cómo estos factores históricos dieron origen a las áreas de endemismo actuales (Noguera-Urbano, 2016).

8. Conclusiones

- Se identificaron las áreas de endemismo que mostraron anidamiento, superposición y disyunción para las 9 familias de lagartijas en la provincia biogeográfica del Altiplano Mexicano.
- Se identificaron 34 áreas de endemismo con tres tamaños de celda diferentes, que permitieron dividir al Altiplano Mexicano en sur y norte con el tamaño de celda de 1.5°. Se propone que el Altiplano Mexicano debe extenderse e incluir el sur de Estados Unidos, con los patrones observados en el presente trabajo y estudios previos.
- El uso de diferentes tamaños de celda parece una buena opción para la identificación de áreas de endemismo, en el presente trabajo se encontró un mayor número de áreas de endemismo cuando se utilizó un tamaño de celda mayor (1.5°)
- Durante el análisis de endemidad los taxones superiores a nivel de género *Holbrookia*, *Uma* y *Xantusia* tuvieron un mejor ajuste en la distribución lo que permitió delimitar de una mejor manera las áreas de endemismo.
- Se seleccionaron tres áreas (AC2_{0.5°}, AC8_{1.0°}, AC28_{1.5°}) de endemismo para la conservación que presentaron el mayor valor de endemidad
- El análisis de discrepancias mostró que existe una congruencia parcial de la AC2_{0.5°} y el ANP de Mapimí. Para el AC8_{1.0} y el AC28_{1.5°} mostraron congruencia con las ANP del AM.
- Los taxones que sustentan las áreas de endemismo que se eligieron para la conservación presentaron cinco tiempos de divergencia, Cretácico, Eoceno, Mioceno, Plioceno y Pleistoceno. Estos tiempos de divergencia están relacionados con distintos eventos geológicos, fisiográficos y climáticos que ocurrieron en el AM, los cuales permitieron el aislamiento de los taxones y dieron origen a las áreas de endemismo actuales.

9. Literatura Citada

- Aagesen, L. C. Szumik, F.O. Zuloaga y O. Morrone. 2009. Quantitative biogeography in the South America highlands—recognizing the Altoandina, Puna and Prepuna through the study of Poaceae. *Cladistics*, 25:295–310.
- Aagesen, L., C. Szumik, y P. Goloboff. 2013. Consensus in the search for areas of endemism. *Journal of Biogeography*, 40:2011–2016.
- Aagesen, L., M.J. Ben, S. Nomdedeu, A. Panizza, R.P. López, y F.O. Zuloaga. 2012. Areas of endemism in the southern central Andes. *Darwiniana*, 50: 218–251.
- Adest, A.G. 1977. Genetic relationships in the genus *Uma* (Iguanidae). *Copeia*, 47–52.
- Aguado-Bautista, O. y T. Escalante. 2015. Cambios en los patrones de endemismo de los mamíferos terrestres de México por el calentamiento global. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80:99–110.
- Arriaga, L., C. Aguilar, D. Espinosa-Organista y R. Jiménez. 1997. Regionalización ecológica y biogeográfica de México. Taller de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México, D.F.
- Bernardo-Vázquez, L. y D. Valenzuela-Galván. 2009. ¿Qué tan bien representados están los mamíferos mexicanos en la red federal de áreas naturales protegidas del país?. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80:249–258.
- Bezaury-Creel, J.D. Gutiérrez-Carbonell y J.F. Remolina. 2009. Áreas naturales protegidas y desarrollo social en México. *Capital Natural de México*, 2:385–431. CONABIO.
- Bezy, R.L., y C.J. Cole. 2014. Amphibians and Reptiles of the Madrean Archipelago of Arizona and New Mexico. *American Museum Novitates*, 3810:1–24.
- Buffon, G.L.C. de. 1761. *Histoire naturell, générale et particuliere*. Paris.
- Brandley, M.C., Y. Wang, X. Guo, A. Nieto-Montes de Oca, M. Fería-Ortíz, T. Hikida y H. Ota. 2010. Accomodating Heterogenous Rates of Evolution in Molecular Divergence Dating Methods: An Example Using Intercontinental Dispersal of *Plestiodon* (*Eumeces*) Lizards. *Systematic Biology*, 60:3–15.

- Campbell, J.A. 1999. Distribution patterns of amphibians in Middle America. En: Duellman, W.E. (ed). Patterns of distribution of amphibians: a global perspective. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.
- Carine M.A., C.J. Humphries, I.R. Guma, J.A. Reyes-Betancort, y A. Santos Guerra. 2009. Areas and algorithms: evaluating numerical approaches for the delimitation of areas of endemism in the Canary Islands archipelago. *Journal of Biogeography*, 36:593–611.
- Casagrande, M.D. y M.L. De Grosso. 2013. Areas of Endemism: Methodological and Applied Biogeographic Contributions from South America. In: Silva-Opps, M. 2013. *Current Progress in Biological Research*, 3–18.
- Casagrande, M.D., L. Taher y C. Szumik. 2012. Endemicity analysis, parsimony and biotic elements: a formal comparison using hypothetical distributions. *Cladistics*, 28:645–654.
- Casagrande, M.D., S. Roig-Juñet y C. Szumik. 2009. Endemismo a diferentes escalas espaciales: un ejemplo con Carabidae (Coleoptera: Insecta) de América del Sur austral. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82:17–42.
- Casas-Andreu, G. y T. Reyna-Trujillo. 1990. Herpetofauna (anfibios y reptiles). Mapa IV.8.6. En Atlas nacional de México, vol. III. Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F.
- CONANP. 2015. Áreas Naturales Protegidas. (www.conanp.gob.mx)
- Cracraft, J. 1985. Historical biogeography and patterns of differentiation within the South America, avifauna: Areas of endemism, pp. 49-84. In: Buckley, P. A., M. S. Foster., E.S. M., R. S. Ridgely y F. G. Buckley (eds.), *Neotropical Ornithological Monographs* 36, Washington, D. C.
- Crisci, J.V., L. Katinas y P. Posadas. 2000. Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. OEA, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C.
- Cuvier, G. 1817. *Le Règne Animal, distribué d'après son organisation, pour servir de base 'a l'histoire naturelle des Animaux et d'introduction 'a l'Anatomie Comparée*, Vol. 4, París.

- DaSilva, M.B., R. Pinto-da-Rocha, y A.M. DeSouza. 2015. A protocol for the delimitation of areas of endemism and the historical regionalization of the Brazilian Rain Forest using harvestmen distribution data. *Cladistics*, 31:1–14.
- De Candolle, A. P. 1820. *Geographie Botanique*. En, *Dictionnaire des Sciences Naturelles*, Vol. 18:359–422.
- De Candolle, A. P. 1855. *Geographie Botanique raisonnée*. Masson, París.
- do Prado, J.R., P.G.G. Brennand, L.P. Godoy, G.S. Libardi, E.F. de Abreu-Júnior, P.R.O. Roth, E.A. Chiquito y R. Percequillo. 2015. Species richness and áreas of endemism of oryzomyine rodents (Cricetidae, Sigmodontinae) in South America: an NDM/VNDM approach. *Journal of Biogeography*, 42:540–551.
- Domínguez, M.C., S. Roig-Juñent, J.J. Tassin, F. Ocampo, y G.E. Flores. 2006. Areas of endemism of the Patagonian steppe: An approach based on insect distributional patterns using endemicity analysis. *Journal of Biogeography*, 33:1527–1537.
- Dugès, A. 1890. Fauna del estado de Guanajuato. *En Geografía y estadística del estado de Guanajuato*, Velasco (q.v.). p. 287–295.
- Dugès, A. 1895. Fauna del estado de Guanajuato. *En Memoria sobre la administración pública del estado de Guanajuato presentada al congreso del mismo por el C. Gobernador constitucional Lic. Joaquín Obregón Gonzáles*, el 1 de abril de 1895. Morelia, (anfibios y reptiles) p. 4–5.
- Elías, G.V. y L. Aagesen. 2016. Areas of vascular plants endemism in the Monte desert (Argentina). *Phytotaxa*, 3:161–182.
- Enderson, E.F., A. Quijada-Mascareñas, D.S. Turner, R.L. Bezy, y P.C. Rosen. 2009. A Synopsis of the Herpetofauna of Sonora with Comments on Research and Conservation Priorities. In: F. Molina and T.R. Van Devender (eds.). *Biodiversity of Sonora, Mexico*, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Escalante, T. 2009. Un ensayo sobre regionalización biogeográfica. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80:551–560.
- Escalante, T. 2015. Parsimony analysis of endemicity and analysis of endemicity: A fair comparison. *Systematics and Biodiversity*, 13:413–418.

- Escalante, T. 2016. A natural regionalization of the world based on primary biogeographic homology of terrestrial mammals. *Biological Journal of the Linnean Society*, 120:349–362.
- Escalante, T. y R. Morales. 2015. Biogeografía de la Conservación: Prioridades y Desafíos. *Biogeografía* 8. *Bulletin of the Systematic and Evolutionary Biogeographical Association*, 8:36–44.
- Escalante, T., D. Espinosa y J.J. Morrone. 2003. Using parsimony analysis of endemism to analyze the distribution of Mexican land mammals. *The Southwestern Naturalist*, 48:563–578.
- Escalante, T., G. Rodríguez y J.J. Morrone. 2004. The diversification of Nearctic mammals in the Mexican Transition Zone. *Biological Journal of the Linnean Society*, 83:327–339.
- Escalante, T., C. Szumik y J.J. Morrone. 2007a. Áreas de endemismo de los mamíferos de México: reanálisis y comparación con estudios previos. *Darwiniana*, 45:41–43.
- Escalante, T., V. Sánchez-Cordero, J.J. Morrone y M. Linaje. 2007b. Areas of endemism of Mexican terrestrial mammals: a case study using species ecological niche modeling, parsimony analysis of endemism and Goloboff. *Interciencia*, 32:151–159.
- Escalante, T., C. Szumik y J.J. Morrone. 2009. Areas of endemism of Mexican mammals: reanalysis applying the optimality criterion. *Biological Journal of the Linnean Society*, 98: 468–478.
- Escalante, T., G. Rodríguez-Tapia, C. Szumik, J.J. Morrone y M. Rivas. 2010. Delimitation of the Nearctic region according to mammalian distributional patterns. *Journal of Mammalogy*, 91:1381–1388.
- Escalante, T., J. Llorente, D. Espinosa y J. Soberón. 2000. Bases de datos y sistemas de información: Aplicaciones en biogeografía. *Revista De la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 24:325–341.
- Escalante, T., J.J. Morrone, y G. Rodríguez-Tapia. 2013. Biogeographic regions of North American mammals based on endemism. *Biological Journal of the Linnean Society*, 110:485–499.

- Espinosa-Organista, D., J.J. Morrone., J. Llorente-Bousquets y O. Flores-Villela. 2002. Introducción al análisis de patrones en biogeografía histórica. Las prensas de las Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, pp. 30–78.
- ESRI (2016) ArcMap 10.3. Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, CA
- Fernández-Badillo L. 2013. Patrones de distribución de las lagartijas y las serpientes en los desiertos mexicanos. Tesis de Maestría. Pachuca: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Fernández-Badillo, L., I. Goyenechea, y T. Escalante. 2014. ¿Puede el análisis de endemidad usarse para la identificación de trazos generalizados? *Biogeografía*, 7:15–26.
- Ferrari, A., A. Paladini, C.F. Schwertner, y J. Grazia. 2010. Endemism analysis of Neotropical Pentatomidae (Hemiptera, Heteroptera). *Iheringia Série Zoología*, 100:449–462.
- Ferrusquía-Villafranca, I. 1990. Regionalización biogeográfica. Mapa IV.8.10. En *Atlas Nacional de México*, vol. III, Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F.
- Ferrusquía-Villafranca, I. 1998. Geología de México. En, Rammammorthy, T.P., Robert B., y John Fa, (eds), *Diversidad Biológica de México: orígenes y distribución*. México, D.F.
- Flores-Villela, O. e I. Goyenechea Mayer-Goyenechea. 2003. Patrones de distribución de anfibios y reptiles de México. P. 289-296. En: Morrone, J.J., y J. Llorente-Bousquets (eds). *Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 307 pp.
- Flores-Villela, O. y U.O. García-Vázquez. 2014. Biodiversidad de reptiles en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85:467–475.
- Flores-Villela, O., y E.A. Martínez-Salazar. 2009. Historical explanation of the origin of the herpetofauna of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80:817–833.
- Gámez, N., S.S. Nihei, E. Scheinvar y J.J. Morrone. 2016. A temporally Dynamic approach for cladistic biogeography and the processes underlying the

- biogeographic patterns of North American deserts. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 55:11–18.
- Garraffoni, A.R.S., F.R. Moura y A.P. Lourenco. 2017. Areas of endemism in the Atlantic Forest: quantitative biogeography insights from orchid bees (Apidae: Euglossini). *Apidologie*, 1–10.
- Gaston, K.J. y T.M. Blackburn. 1995. Mapping biodiversity using surrogates for species richness: macroscales and New World birds. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 262:335–341.
- Goldman, E.A. y R.T. Moore. 1945. The biotic provinces of Mexico. *Journal of Mammalogy*, 26:347–360.
- Goloboff, P. 2004. NDM/VNDM: programs for identification of areas of endemism (Versión 3.0) [Software]. Disponible en <http://www.lillo.org.ar/phylogeny/endemis>
- González-López, J.R. Caracterización biogeográfica de la provincia del Altiplano Mexicano con base en su mastofauna. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Greenwood, D.R. y L.S. Wing. 1995. Eocene continental climates and latitudinal temperatura gradients. *Geology*, 23:1044–1048.
- Harold, A.S., y R.D. Mooi. 1994. Areas of endemism: Definition and recognition criteria. *Systematic Biology*, 43:261–266.
- Hausdorf, B., y C Hennig. 2003. Biotic element analysis in biogeography. *Systematic Biology*, 52:717–723.
- Hoffmeister, C.H., y A. Ferrari. 2016. Areas of endemism of arthropods in the Atlantic Forest (Brazil): an approach based on a metaconsensus criterion using endemicity analysis. *Biological journal of the Linnean Society*, 119:126–144.
- Humboldt, A. von. 1805. *Essai sur la géographie des plantes; accompagné d' un tableau physique des regions équinoxiales*. París.
- Humboldt, A. von. 1817. *De distributione geographica plantarum secundum coeli temperiem et altitudinem montium, Prolegomena*, Lutetia Parisorum.
- Integrated Taxonomic Information System. 2016. (ITIS) (<http://www.itis.gov>).
- Jarema, S.I., J. Samson, B.J. McGill, y M.M. Humphries. 2009. Variation in abundance across a species' range predicts climate change responses in the

- range interior will exceed those at the edge: a case study with North American beaver. *Global Change Biology*, 15:508–522.
- Katinas, L., J.V. Crisci, W.L. Wagner y P.C. Hoch. 2004. Geographical diversification of tribes Epilobieae, Gongylocarpeae, and Onagreae (Onagraceae) in North America, based on parsimony analysis of endemism and track compatibility analysis. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 91:159–185.
- Lamoreux, J.F., J.C. Morrison, T.H. Ricketts, D.M. Olson, E. Dinerstein, M.W. McKnight, y H.S. Herman. 2006. Global test of biodiversity concordance and the importance of endemism. *Nature*, 440:212–214.
- Latreille, P.A. 1815. Introduction à la géographie générale des arachnides et des insectes; ou des climats propres à ces animaux.
- Leaché, A.D., B.L. Banbury, C.W. Linkem y A. Nieto-Montes de Oca. 2016. Phylogenomics of a rapid radiation: is chromosomal evolution linked to increased diversification in north american spiny lizards (Genus *Sceloporus*)?. *BMC Evolutionary Biology*, 16:63.
- Leakey, R.E., y R. Lewin. 1996. *The sixth extinction: Patterns of life and the future of humankind*. New York: Doubleday.
- Lemos-Espinal, J.A. 2009. Lizards of Chihuahua. En, L.L.C. Jones y R.E. Lovich Eds. Rio Nuevo Publishers, Tucson, Arizona. *Lizards of the American Southwest*.
- Lemos-Espinal, J.A. y H.M. Smith. 2007a. *Anfibios y Reptiles del Estado de Chihuahua, México/Amphibians and Reptiles of the State of Chihuahua, Mexico*. CONABIO. México.
- Lemos-Espinal, J.A. y H.M. Smith. 2007b. *Anfibios y Reptiles del Estado de Coahuila, México/Amphibians and Reptiles of the State of Coahuila, Mexico*. CONABIO. México.
- Lemos-Espinal, J.A. y J.R. Dixon. 2013. *Amphibians and reptiles of San Luis Potosí*. Eagle Mountain Publishing.
- Lemos-Espinal, J.A. y J.R. Dixon. 2016. *Anfibios y Reptiles de Hidalgo, México/Amphibians and Reptiles of Hidalgo, Mexico*. CONABIO, México.

- Lemos-Espinal, J.A., H.M. Smith, J.R. Dixon, y A. Cruz. 2015. Anfibios y Reptiles de Sonora, Chihuahua y Coahuila, México/Amphibians and Reptiles of Sonora, Chihuahua and Coahuila, Mexico. CONABIO, México.
- Liner, E. A., y G. Casas-Andreu. 2008. Nombres estándar en español y en inglés y nombres científicos de los anfibios y reptiles de México/Standard spanish, english, and scientific names of the amphibians and reptiles of Mexico. Society for the Study of Amphibians and Reptiles, Herpetological Circular, 38:1–162.
- Llorente-Bousquets, J., I. Luna-Vega, J. Soberón-Mainero y L. Bojórquez-Tapia. 1994. Biodiversidad y su inventario: teoría y práctica en la taxonomía alfa contemporánea. En: Llorente-Bousquets, J y Luna-Vega, I. Taxonomía Biológica, Fondo de Cultura Económica (eds). México, D.F.
- Luna-Vega, I., J.J. Morrone, y T. Escalante. 2010. Conservation biogeography: A viewpoint from evolutionary biogeography. En, Gailis, M., y S. Kalninks (eds) Biogeography. Nova-Science Publisher. New York, USA.
- Margules, C.R. y S. Sarkar. 2009. Planeación sistemática de la conservación. Universidad Nacional Autónoma de México. CONABIO.
- May, R.M., J.H. Lawton y N.E. Stork. 1995. Assessing extinction rates. En, Lawton, J.H. y M. Ray (eds), Extinction rates. Oxford: Oxford University Press.
- Méndez-Larios I., J.L. Villaseñor, R. 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 endemism of flowering plant species. *Interciencia*, 30:264–274.
- Mendoza-Fernández, A.J., F.J. Pérez-García, F. Martínez-Hernández, E. Salmerón-Sánchez, J.M. Medina-Cazorla, J.A. Garrido-Becerra, M.I. Martínez-Nieto, M.E. Merlo, y J.F. Mota. 2014. Areas of endemism and threatened flor in a Mediterranean hotspot: southern Spain. *Journal for Nature Conservation*, 23:35–44.
- Montiel-Canales, G. 2017. Áreas de endemismo de los vertebrados terrestres de los bosques mesófilos de montaña de México e identificación de regions para su conservación. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

- Morafka, D. J. 1977. A biogeographical analysis of the Chihuahuan desert through its herpetofauna. Dr. W. Junk B. V., publishers, The Hague. 311 p.
- Morales, R., Escalante, T., Noguera-Urbano, E. A., Gámez, N., y Rodríguez-Tapia, G. 2016. Conservation biogeography in the Mexican Mountain Component: bridging conservation and patterns of endemism. *THERYA*, 7:215–229.
- Moritz, C., J.L. Patton, C.J. Conroy, J.L. Parra, G.C. White, y S.R. Beissinger. 2008. Impact of a century of climate change on small-mammal communities in Yosemite National Park, USA. *Science*, 322:261–264.
- Morrone, J.J. 1994. On the identification of areas of endemism. *Systematic Biology*, 43:438–441.
- Morrone, J.J. 1999. Presentación preliminar de un nuevo esquema biogeográfico de América del Sur. *Biogeographica*, 75:1–16.
- Morrone J.J. 2001a. Homology, biogeography and areas of endemism. *Diversity and Distributions*, 7:297–300.
- Morrone, J.J. 2001b. Toward a cladistic model of the Caribbean: delimitation of areas of endemism. *Caldasia*, 23:43–76.
- Morrone, J.J. 2002. Presentación sintética de un nuevo esquema biogeográfico de América Latina y el Caribe. En, Costa, C., Vanin, S.A., Lobo, J.M. y Melic, A. (eds), *Hacia un Proyecto CYTED para el inventario y estimación de la diversidad entomológica en Iberoamérica: PRIBES*. Zaragoza, España.
- 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. 199 p
- Morrone, J.J. 2004b. Panbiogeografía, componentes bióticos y zonas de transición. *Revista Brasileira de entomología*, 48:149–162.
- Morrone, J.J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana Biodiversidad*, 76:207–252.
- Morrone, J.J. 2006. Biogeographic areas and transition zones of Latin America and the Caribbean Islands, based on panbiogeographic and cladistic analyses of the entomofauna. *Annual Review of Entomology*, 51:467–494.

- Morrone, J.J. 2007. Hacia una biogeografía evolutiva. *Revista Chilena de Historia Natural*, 80:509–520.
- Morrone, J.J. 2009. *Evolutionary biogeography: an integrative approach with case studies*. Columbia University.
- 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 T. Escalante. 2009. *Diccionario de la biogeografía*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Morrone, J.J., y T. Escalante. 2016. *Introducción a la biogeografía*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, D.F. México.
- Morrone, J.J., D. Espinosa-Organista y J. Llorente Bousquets. 1996. *Manual de Biogeografía Histórica*. Universidad Nacional Autónoma de México
- Morrone, J.J., D. Espinos-Organista, C. Aguilar, y J. Llorente Bousquets. 1999. Preliminary classification of the Mexican biogeographic provinces: a parsimony analysis of endemism based on plant, insect, and bird taxa. *Southwestern Naturalist*, 44:507–14.
- Morrone, J.J., T. Escalante y G. Rodríguez-Tapia. 2017. Mexican biogeographic provinces: Map and Shapefiles. *Zootaxa*, 4277:277–279.
- Munguía-Lino, G., T. Escalante, J.J. Morrone y A. Rodríguez. 2016. Areas of endemism of the North American species of Tigridaeae (Iridaceae). *Australian Systematic Botany*, 29:142–156.
- Navarro, F.R., F. Cuezco, P.A. Goloboff, C. Szumik, M. Lizarralde de Grosso y M.G. Quintana. 2009. Can insect data be used to infer areas of endemism? An example from the Yungas of Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82:507–522.
- Nelson, C.H. 2008. Hierarchical relationships of North American states and provinces: an area cladistics analysis based on the distribution of stoneflies (Insecta: Plecoptera). *Illiesia*, 4:176–204.
- Nelson, G. y N.I. Platnick. 1981. *Systematics and biogeography: cladistics and vicariance*. Columbia University Press, New York.

- Nieto-Montes de Oca, A. y E. Pérez-Ramos. 1999. Anfibios y reptiles del Estado de Querétaro. Universidad Nacional autónoma de México. Facultad de Ciencias. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. H250. México, D.F.
- Noguera-Urbano, E.A. 2016. Areas of endemism: travelling through space and the unexplored dimension. *Systematics and Biodiversity*, 14:131–139.
- Noguera-Urbano, E.A. y T. Escalante. 2015. Áreas de endemismo de los mamíferos (Mammalia) Neotropicales. *Acta Biológica Colombiana*, 20:47–65.
- Noonan, B.P., J.B. Pramuk, R.L. Bezy., E.A. Sinclair, K.D. Queiroz y J.W. Sites Jr. 2013. Phylogenetic relationships within the lizard clade Xantusiidae: Using trees and divergence times to address evolutionary questions at multiple levels. *Molecular Phylogenetic and Evolution*, 69:109–122.
- Norris, K.S. 1958. The evolution and systematics of the iguanid genus *Uma* and its relation to the evolution of other North American desert reptiles. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 114:246–326.
- Ochoa-Ochoa, L. M., y O. Flores-Villela. 2006. Áreas de diversidad y endemismo de la herpetofauna mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México-Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México, D. F.
- Oliveira, U., A.D. Brescovit, y A.J. Santos. 2015. Delimiting areas of endemism through Kernel Interpolation. *PLoS ONE*, 10(1): e0116673.
- Ordoñez-Díaz, M de J. y O. Flores-Villela. 1995. Áreas Naturales Protegidas. Serie Cuadernos de Conservación 4. PRONATURA, México, D.F.
- Platnick, N. 1991. On the areas of endemism. *Australian Systematic Botany*, 4:11–12.
- Porzeczanski A.L, y J. Cracraft. 2005. Cladistic analysis of distributions and endemism (CADE): using raw distributions of birds to unravel the biogeography of the South American aridlands. *Journal of Biogeography*, 32:261–275.
- Ramírez-Bautista, A., U. Hernández-Salinas., R. Cruz-Elizalde., C. Berriozabal-Isilas., D. Lara-Tufiño., I. Goyenechea y J.M. Castillo-Cerón. 2014. Los Anfibios y Reptiles de Hidalgo, México: Diversidad, Biogeografía y Conservación. *Sociedad Herpetológica Mexicana*. Pp. 107 y 124.

- Ramírez-Pulido, J. y A. Castro-Campillo. 1990. Regiones y provincias mastogeográficas en regionalización mastofaunística, IV.8.8. Atlas Nacional de México. Vol. III. Escala 1:4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Reeder, T.W., T.M. Townsend, D.G. Mulchay, B.P. Noonan, P.L. Wood Jr. y J.J. Wiens. 2015. Integrated analyses resolve conflicts over squamate reptile phylogeny and reveal unexpected placements for fossil taxa. *PloS ONE*, 10(3), e0118199.
- Ribeiro, G.C., C.M. Santos, L.T. Olivieri, D. Santos, J.M. Berbert, y A. Eterovic. 2014. The world's biogeographical regions revisited: global patterns of endemism in Tipulidae (Diptera). *Zootaxa*, 3847:241–258.
- Riddle, B.R. 1995. Molecular biogeography in the pocket mice (*Perognathus* and *Chaetodipus*) and grasshopper mice (*Onychomys*): the Late Cenozoic development of a North American aridlands rodent guild. *Journal of Mammalogy*, 76:283–301.
- Riddle, B.R., y D.J. Hafner. 2006. A step-wise approach to integrating phylogeographic and phylogenetic biogeographic perspective on the history of a core North American warm deserts 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.
- Riddle, B.R., D.J. Hafner y L.F. Alexander. 2000. Phylogeography and systematics of the *Peromyscus eremicus* species group and the historical biogeography of North American warm regional deserts. *Molecular Phylogenetics*, 17:145–160.
- Rivas-Soto, M.A. 2011. Reconocimiento de patrones biogeográficos de coleópteros lamellicornios de las subfamilias Scarabaeinae y Geotrupinae (Scarabaeidae: Coleoptera). Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 76 p.
- Rosen, B.R. 1988. From fossils to earth history: applied historical biogeography. In: Myers A.A., Giller P.S. (eds). *Analytical biogeography: an integrated approach to the study of animal and plant distributions*. London and New York: Chapman and Hall.

- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México, D.F.
- Sánchez-Cordero, V., A. Townsend-Peterson y P. Escalante-Pliego. 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. En: Hernández et al. 2001. Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad. Instituto de Biología y Fondo de Cultura Económica (eds). México, D.F. pp. 359–380.
- Sandoval, M.L., y I. Ferro. 2014. Biogeographical analysis of rodent endemism and distributional congruence in the southern-central Andes (north–western Argentina). *Biological Journal of the Linnean Society*, 112:163–179.
- Sanmartín, I., H. Enghoff y F. Ronquist. 2001. Patterns of animals dispersal, vicariance and diversification in the Holartic. *Biological Journal of the Linnean Society*, 73:345–390.
- Scott, J.M., B. Csuti, J.D. Jacobi, y J.E. Estes. 1987. Species Richness. *Bioscience*, 37:782–788.
- Scott, J.M., B. Csuti. K. Smith, J.E. Estes y S. Caicco. 1988. Beyond Endangered Species: An integrated conservation strategy for the preservation of biological diversity. *Endangered Species UPDATE*, 5:43–48.
- Smith, H.M. 1941. Las provincias bióticas de México, según la distribución geográfica de las lagartijas del género *Sceloporus*. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 2:103–110.
- Smith, H.M., y E.H. Taylor. 1950. Type localities of Mexican reptiles and amphibians. *University of Kansas Science Bulletin*, 8:313–380.
- Stuart, L.C. 1964. Fauna of middle America. En, West, R.C. (eds), *Handbook of middle American Indians*.
- Szumik, C., A.F. Cuerzzo, P.A. Goloboff, y A.E. Chalup. 2002. An optimality criterion to determine areas of endemisms, *Systematic Biology*, 51:806-816.
- Szumik, C., D. Casagrande, y S. Roig-Juñet. 2006. Manual de NDM/VNDM: Programas para la identificación de áreas de endemismo. *Instituto Argentino de Estudios Filogenéticos*, 5:1–26.
- Szumik, C., D. Casagrande, S. Roig-Juñet, y T. Escalante. 2007. Áreas de endemismo III: Identificación mediante análisis de endemismo. P. 89-93. En.

- Luis-Martínez, A., A. N. Castañeda-Sortibrán, J.J. Morrone y J. Llorente-Bousquets (eds). Manual de prácticas de biogeografía. Las Prensas de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Szumik, C., y P.A. Goloboff. 2004. Areas of endemism. An Improved Optimally Criterion. *Systematic Biology*, 53:968–977.
- Szumik, C., y P.A. Goloboff. 2015. Higher taxa and the identification of areas of endemism. *Cladistics*: 1–5.
- Tanner, W.W. 1987. Lizards and Turtles of western Chihuahua. *Great Basin Naturalist*, 47:383–421.
- Valdez-Lares, R., R. Muñoz-Martínez, H. Gadsen, G. Aguirre-León, G. Castañeda-Gaytán y R. González-Trápaga. 2009. Checklist of amphibians and reptiles of the state of Durango, México. *Check List*, 9:714–724.
- Vicario, S. A. Caccone, y J. Gauthier. 2003. Xantusiid “night” lizards: a puzzling phylogenetic problem revisited using likelihood-based Bayesian methods on mtDNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 26:243–261.
- Vitt, L.J., y J.P. Caldwell. 2009. *Herpetology. An introductory biology of amphibians and reptiles*. Academic Press, Elsevier, San Diego California. U.S.A. p. 697.
- Weirauch, C., K.C. Seltmann, R.T. Schuh, M.D. Schwartz, C. Johnson, M.A. Feist, y P.S. Soltis. 2016. Areas of endemism in the Nearctic: a case study of 1339 species of Miridae (Insecta: Hemiptera) and their plant hosts. *Cladistics*, 0:1–16.
- Whittaker, R.J, M.B Araújo, P. Jepson, R.J. Ladle, J.E.M Watson, y K.J. Willis. 2005. Conservation biogeography: Assessment and prospect. *Diversity and Distributions*, 11:3–23.
- Wiens, J.J., y S.M. Lambert. 2015. The Phylogeny of Lizard Families. En, Rheubert, J.L., D.S. Siegel, y S.E. Trauth. *Reproductive Biology and Phylogeny of Lizard and Tuatara* (eds).
- Wolfe, J.A., C.E. Forest, y P. Molnar. 1998. Paleobotanical evidence of Eocene and Oligocene in midlatitude western North America. *Geological Society of America Bulletin*, 110:664–678.