

Complejo *A. gularis*. Nuevo León, México

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL COMPLEJO *ASPIDOSCELIS GULARIS* (SQUAMATA: TEIIDAE) EN MÉXICO

Carlos Pérez-Almazán^{1,2*},
Miguel Ángel Balderas-Plata²,
Norma Leticia Manríquez-Morán³,
Delfino Madrigal-Uribe² y
Xanat Antonio-Némiga²

POTENTIAL DISTRIBUTION OF *ASPIDOSCELIS GULARIS*
(SQUAMATA: TEIIDAE) COMPLEX IN MEXICO

RESUMEN

La distribución del complejo *Aspidoscelis gularis* en México ha sido difícil de modelar debido a los problemas taxonómicos que enfrentan sus integrantes y a que los modelos publicados excluyen zonas típicas donde los taxones han sido reportados. El objetivo de este trabajo fue actualizar la información sobre la distribución del complejo *A. gularis* y proponer un modelo aplicable a grupos de especies considerados "complejos", así como a cualquier nivel taxonómico. La información generada permitió desarrollar un modelo de distribución con el algoritmo Tipicidad de Mahalanobis en IDRISI Taiga, que se validó con el área bajo la curva (AUC), con un valor de 0.932. La

distribución modelada abarcó estados pertenecientes al Altiplano Mexicano. Se encontró que los taxones del complejo están asociados con la vegetación característica del Altiplano Mexicano, clasificada como desierto Chihuahuense, compuesta principalmente por matorrales xerófilos y pastizales, lo que sugiere un factor que limita su distribución en el norte hasta el centro de México, similar con otros grupos de reptiles.

PALABRAS CLAVE:

Distribución, *Aspidoscelis*, México, Altiplano, Mahalanobis.

ABSTRACT

The distribution of *Aspidoscelis gularis* complex in Mexico has been difficult to

¹Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química, Instituto Literario 100, col. Centro, Toluca, Estado de México, México, C.P. 50000.

²Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Geografía, Laboratorio de Suelos y Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Instituto Literario 100, col. Centro, Toluca, Estado de México, México, C.P. 50000.

³Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Laboratorio de Sistemática Molecular, Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, col. Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184.

*Autor para correspondencia:
cpa52013@gmail.com

Fecha de recepción: 4 de noviembre de 2013.

Fecha de aceptación: 6 de agosto de 2014.

model due to taxonomic problems facing its members; and because, published models exclude typical areas where taxa have been reported. The goal of this study was to update the information on the distribution of *A. gularis* complex and suggest a model applicable to species groups considered "complex", as well as to any taxonomic level. The generated information allowed developing a distribution model through Mahalanobis-typicality algorithm in IDRISI Taiga, validated using the area under the curve (AUC), with value of 0.932. The modeled distribution spanned in the states belonging to the Mexican Plateau. It was found that the taxa of the complex were associated with the Mexican Plateau's vegetation, classified as Chihuahuan desert. The vegetation was composed mainly by xeric scrub and grasslands, suggesting a factor that limits their distribution in northern and central Mexico, as it happens similar to other groups of reptiles.

KEYWORDS:

Distribution, *Aspidoscelis*, Mexico, Plateau, Mahalanobis.

INTRODUCCIÓN

El género *Aspidoscelis* es un grupo de lagartijas ampliamente distribuido desde Estados Unidos hasta el noreste de Costa Rica (Wright, 1993; Reeder y col., 2002), abarca ambientes templados y tropicales en altitudes que van desde los 0 hasta 2 650 msnm (Vitt y Breitenbach, 1993). El género *Aspidoscelis* incluye tres grupos de especies (con dos grupos unisexuales asociados), los grupos *deppii*, *tigris* y *sexlineata* (Reeder y col., 2002). Dentro del grupo *sexlineata* destaca el complejo *Aspidoscelis gularis* que se compone de taxones morfológicamente similares, que sólo varían geográficamente en sus patrones de coloración (Walker, 1981a; Reeder y col., 2002).

Actualmente, se considera que este complejo está integrado por siete taxones (subespecies): *A. gularis gularis*, *A. g. colossus*, *A. g. pallida*, *A. g. scalaris*, *A. g. septemvittata*, *A. g. semifasciata* y *A. g. semiannulata* (Walker, 1981b), los cuales se distribuyen en la Meseta Central

desde el suroeste de Estados Unidos de América, en Oklahoma y Texas (Duellman y Zweifel, 1962), y en México en estados que pertenecen al Altiplano Mexicano como Chihuahua (Lemos-Espinal y Smith, 2007), Sonora (Enderson y col., 2009), Durango (Valdez-Lares y col., 2013), Nuevo León (Lazcano y col., 2009), Tamaulipas (Contreras-Lozano y col., 2013), Zacatecas, Aguascalientes (Vázquez-Díaz y Quintero-Díaz, 2005), San Luis Potosí (Lemos-Espinal y Dixon, 2013), Jalisco (Flores-Cobarrubias y col., 2012), Querétaro, Guanajuato, Michoacán (Walker, 1981b, Wrigth, 1993), Hidalgo (Ramírez-Bautista y col., 2010; Manríquez-Morán y Orozco-Rodríguez, 2011) y Veracruz (Walker, 1981a; Wright, 1993).

El complejo *A. gularis* enfrenta diversos problemas taxonómicos (Manríquez-Morán y Orozco-Rodríguez, 2011) que están reflejados en los estudios de distribución y planes enfocados a su conservación, los cuales son escasos o no existen. Por ejemplo, dentro de la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT, 2010) se encontró que de 23 especies de la familia Teiidae, todas del género *Aspidoscelis*, seis se encuentran dentro de la categoría de amenazada y 17 en protección especial, pero ninguna de las subespecies del complejo se encuentra en alguna categoría de riesgo. Una de las posibles causas es que *A. gularis* se considera una especie polítipica con muchas subespecies, producto de estudios taxonómicos (Walker, 1981a; Walker, 1981b) y filogenéticos formales (Reeder y col., 2002) por lo que no se ha evaluado apropiadamente su historia natural y estatus de conservación. Por otra parte, los estudios sobre su distribución parecen excluir zonas de presencia potencial donde se ha reportado la existencia de taxones que integran el complejo (Ochoa-Ochoa y col., 2006).

A menudo, los estudios de distribución potencial se elaboran con base en el concepto de nicho ecológico (Pearson, 2007). El término nicho, se define como un espacio multidimensional de los factores ambientales dentro de los cuales una especie puede existir (Hutchinson, 1957; Peterson y col., 2011). En la mayoría de los

escamados existe una relación estrecha con la variación en las condiciones ambientales (temperatura y precipitación) y con la vegetación, variables que promueven procesos fisiológicos como: termorregulación, asignación de recursos para la reproducción y temporalidad reproductora (Congdon, 1989; Huey y col., 2010; Sinervo y col., 2010). Además, la estructura del hábitat puede favorecer eventos de selección natural, variación en historias de vida (Angilletta, 2001) y plasticidad fenotípica, lo que incrementa la permanencia y adecuación de los organismos (Congdon, 1989). Debido a los cambios constantes en los hábitats y climas mundiales, es necesario generar información actualizada sobre las dinámicas evolutivas y ecológicas, las cuales pueden favorecer o restringir la permanencia de los taxones en sus hábitats naturales.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue actualizar la distribución potencial del complejo *A. gularis* a través del modelado de nicho ecológico, con el fin de aportar conocimiento para el desarrollo de estrategias encaminadas a la conservación de vertebrados, en este caso de lagartijas del género *Aspidoscelis*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos fueron procesados en tres etapas: 1) depuración y construcción de la base de datos con registros de presencia; 2) selección de variables bioclimáticas predictoras del nicho y; 3) desarrollo e interpretación de los modelos de distribución.

Registros de presencia

Los registros del complejo *A. gularis* fueron descargados de los portales en línea Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2014) y HerpNet2 (2014). Inicialmente se obtuvieron un total de 1 109 registros de presencia del complejo *A. gularis*. Las bases fueron depuradas para eliminar localidades inciertas, datos repetidos y sin ubicación geográfica de colecta (Newbold, 2010; Peterson y col., 2011). De esta manera, se tomaron en cuenta solo aquellas localidades donde se ha documentado la presencia del

Tabla 1

Localidades de colecta con presencia de los taxones del complejo *Aspidoscelis gularis* (mayo y julio 2013).

Table 1. Collection localities with presence of taxa of *Aspidoscelis gularis* complex (May and July 2013).

Taxón	Localidad	Estado	Latitud	Longitud
Complejo <i>A. gularis</i>	Mineral de Pozos	Guanajuato	- 100.865 166	24.499 66
	Jerónimo de Aráceo	Guanajuato	- 101.188 056	20.335 45
	Tula	Tamaulipas	- 99.7166 306	23.021 63
	Estación de la Cruz	Tamaulipas	- 99.1759 611	24.102 81
	Cañón de Casa Blanca	Nuevo León	- 100.712 361	25.653 30
	San Roberto	Nuevo León	- 100.303 889	24.685 93
	Real de Catorce	San Luis Potosí	- 100.832 042	23.818 53
	Rancho San Benito	San Luis Potosí	- 100.701 719	23.798 08
	Yoliatl	San Luis Potosí	- 101.692 039	22.891 74
	El Rosario	Querétaro	- 100.312 956	20.517 57
	Rancho ¼ de Milla	Jalisco	- 101.883 438	21.325 63
	El Sauz	Aguascalientes	- 102.618 139	21.883 50
	Chulavista	Zacatecas	- 102.964 969	22.643 49

complejo y se completó con colectas en localidades en los estados de Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí, Aguascalientes, Zacatecas, Jalisco, Nuevo León y Tamaulipas, durante los meses de mayo y julio de 2013 (Tabla 1). Después de la depuración se obtuvo un total de 250 registros únicos de presencia, con los cuales se elaboró el modelo de distribución potencial del complejo *A. gularis*. Las colectas corresponden con la temporada de actividad reproductora de los miembros que componen el complejo. Los ejemplares colectados fueron depositados en la Colección de Reptiles del Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), DGVS-SEMARNAT (FAUT-0243). Es importante considerar que a los taxones del complejo *A. gularis* colectados no se les asignó ninguna clasificación de subespecie, porque de acuerdo a trabajos filogenéticos realizados en Laboratorio de Sistemática Molecular de UAEH aún existen problemas al interior del complejo *A. gularis*, ya que ninguno de los clados encontrados hasta ahora concuerda con las propuestas tradicionales.

Selección de variables predictoras del nicho

Se obtuvieron 19 variables bioclimáticas del portal en línea de Worldclim (2014), generadas por interpolación de datos a una resolución de 1 km² (Hijmans y col., 2005), y se produjo una cobertura vegetal a partir del mapa de Uso de Suelo y Vegetación de México Serie IV (INEGI, 2009), escala 1: 250 000. El mapa fue reclasificado para obtener valores de importancia, siendo 1 el menos importante y 4 el más importante (1 = bosque de coníferas, bosque mesófilo, sin vegetación aparente, vegetación hidrófila, vegetación inducida, 2 = bosque de encino, 3 = pastizal, selva perennifolia, selva subcaducifolia y 4 = matorral xerófilo, selva baja caducifolia, selva espinosa), según las características de las localidades publicadas para algunos de los taxones que componen el complejo (Ramírez-Bautista y col., 2009; Manríquez-Morán y Orozco-Rodríguez, 2011), con

respecto a lo sugerido para el grupo sexlineata (Schall, 1993), y lo observado en las salidas de mayo y julio 2013. Las capas fueron editadas y homogeneizadas con el Sistema de Información Geográfica (SIG) IDRISI Taiga (Eastman, 2009). Las capas son elementos temáticos (lagos, carreteras, climas, suelos, etc.) representados por puntos, líneas y polígonos, ligados a bases de datos que son visualizados en los mapas como producto final (Tomlinson, 2007).

Con base en un árbol de correlación (UPGMA), a través del SIG BIOMAPPER, se eliminaron las variables correlacionadas. De esta manera, con nueve variables (Tabla 2) y con el 100 % de los registros (250), se generó un modelo base que representa la totalidad de áreas probables de presencia del complejo *A. gularis* (Figura 1).

Desarrollo e interpretación del modelo

La distribución potencial del complejo se modeló con el algoritmo Tipicidad de Mahalanobis en IDRISI Taiga. Este algoritmo requiere registros de presencia,

como datos de entrada, y funciona a través de la distancia de Mahalanobis (métrica euclidiana) y evalúa que tan adecuado es un pixel dado con respecto a los registros de presencia y las variables bioclimáticas (Eastman, 2006; Sangermano y Eastman, 2007). Para obtener una distribución más precisa y confiable, el modelo base debe ser evaluado con respecto al valor del área bajo la curva (AUC, siglas en inglés) por medio del análisis ROC (Receiver Operating Characteristic), donde valores de 0.9 reflejan modelos de buena precisión (Hirzel y col., 2006). Para la evaluación del modelo, el módulo ROC en IDRISI Taiga (Eastman, 2009) necesita la transformación de los valores continuos del modelo a una escala binaria conocida como booleana (0 a 1), dicha reclasificación necesita un punto de corte que represente un mapa de aptitud más honesto y con predicciones relevantes (Fielding y Bell, 1997; Hirzel y col., 2006). El módulo requiere dos mapas, un mapa de entrada y otro de referencia (Sangermano y Eastman, 2007; Eastman, 2009), los cuales fueron desarrollados

con el 70 % de los registros de presencia (175), y el 30 % (75), elegidos al azar respectivamente (250 registros; GBIF, HerpNet2, colectas mayo y julio) y con un punto de corte de 0.57 con respecto al modelo generado con el 100 % de los registros (Figura 1). Se debe considerar que actualmente el valor del AUC ha generado controversias y depende del número de presencias y del tamaño total del área de estudio (Lobo y col., 2007; Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011).

También en el módulo ROC en IDRISI Taiga (Eastman, 2009), se comparó el modelo booleano (Figura 2) y con el modelo publicado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (Ochoa-Ochoa y col., 2006) (Figura 3), el cual fue importado a IDRISI Taiga, y transformado a un lenguaje booleano. Finalmente, con el módulo ÁREA en IDRISI Taiga se obtuvo la superficie que abarca la distribución potencial del complejo *A. gularis* en México en Km².

RESULTADOS

Con respecto a la Figura 1 se sugieren zonas típicas donde los taxones del complejo han sido reportados principalmente en estados que componen el Altiplano Mexicano. También indica estados de la República Mexicana no reportados con probabilidad de presencia alta y media como Nayarit, Puebla, Tlaxcala, Oaxaca, Estado de México; y con baja probabilidad Sonora, Baja California Sur, Sinaloa, Colima, Guerrero, Chiapas, Veracruz, y Distrito Federal. Sin embargo, con el modelo booleano (Figura 2) se eliminaron zonas de probabilidad de presencia baja y media (por debajo del punto de corte seleccionado; 0.57), donde Veracruz (Walker, 1981a; Wright, 1993) y el Distrito Federal tienen registros de presencia (Hernández-Gallegos y col., 2009); y con alta probabilidad permanecen estados no reportados como Tlaxcala, Nayarit, Puebla y Oaxaca, donde los dos últimos pertenecen al Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Con relación a las variables usadas para modelar la distribución (Tabla 2), la variable de mayor

Figura 1

Distribución potencial del complejo *Aspidoscelis gularis*. La paleta de color indica la probabilidad de presencia de los taxones del complejo de 0 a 1, donde 0 es la probabilidad más baja y 1 la más alta.
Figure 1. Potential distribution of *Aspidoscelis gularis* complex. The color palette indicates the probability of the taxa complex occurrence from 0 to 1, where 0 is the lowest probability and 1 the highest.

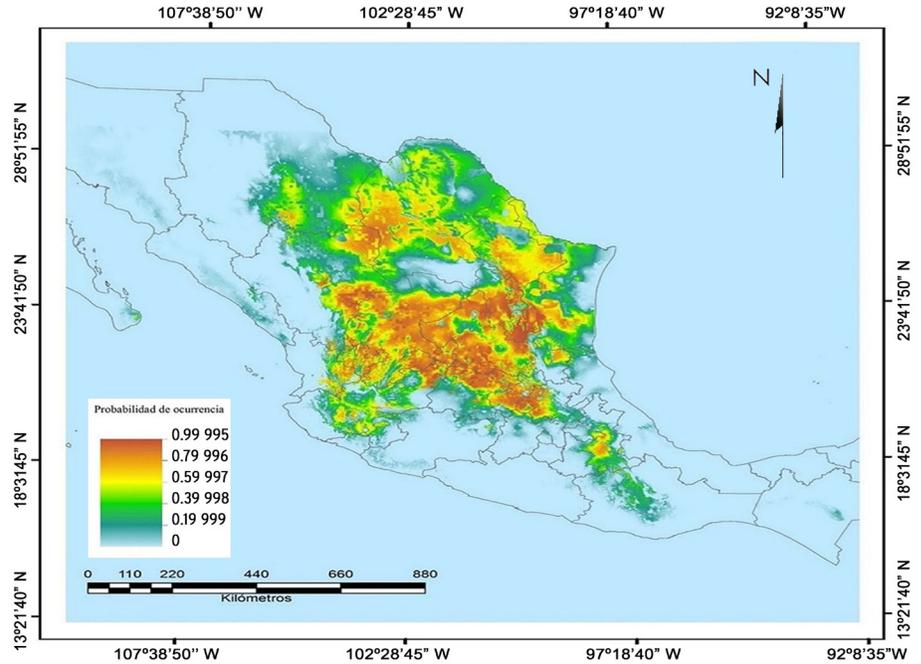


Tabla 2

Variables bioclimáticas de México elegidas con un árbol de correlación UPGMA.
Table 2. Bioclimatic variables of Mexico chosen by UPGMA correlation tree.

Variable	Fuente
Vegetación	INEGI
Temperatura promedio anual	Worldclim
Temperatura estacional	
Temperatura mínima del mes más frío	
Temperatura promedio del trimestre más húmedo	
Precipitación anual	
Precipitación del trimestre más cálido	
Precipitación del trimestre más frío	
Altura	

importancia es la vegetación del Altiplano Mexicano (Tabla 3), que está compuesta principalmente por matorrales xerófilos y pastizales (Espinosa y col., 2008), y está

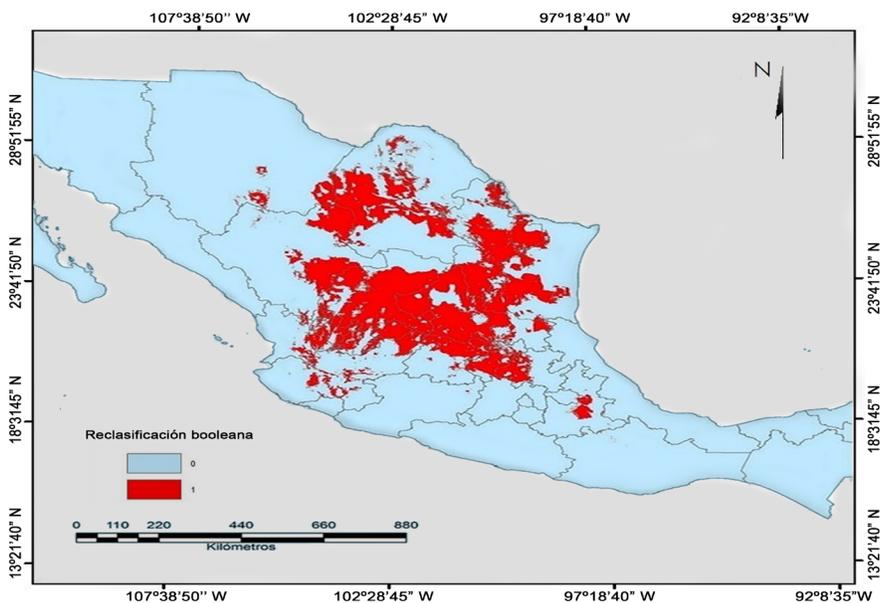
clasificada como desierto Chihuahuense (Granados-Contreras y col., 2011); y la vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, donde predomina la selva

Figura 2

baja caducifolia en el valle, bosque de encino en las partes altas y al norte matorral desértico rosetófilo (Arriaga y col., 2000). La evaluación del modelo según el módulo ROC de IDRISI indica que la distribución potencial con respecto al modelo booleano (obtuvo un AUC de 0.932 y representa un área de 15.16 % (296 953.34 km²) del territorio mexicano (1 959 248 km²; INEGI, 2008) (Figura 2). El modelo propuesto por la CONABIO (Figura 3) presentó un AUC de 0.582 y representa el 12.90 % (252 847.77 km²) del territorio mexicano. Al comparar ambos modelos se obtuvo un área común de 98 732.6 km², la cual representa el 5.03 % del territorio mexicano, el 33.25 % de la distribución modelada en este trabajo (296 953.34 km²; Figura 2) y el 39.05 % de la distribución sugerida por la CONABIO (252 847.77 km²; Figura 3). Por lo anterior, el modelo booleano (Figura 2) con el punto de corte seleccionado (0.57) representa de manera adecuada la distribución potencial del complejo *A.gularis*.

Reclasificación booleana de la distribución del complejo *Aspidoscelis gularis* que representa las áreas de probabilidad media y alta (punto de corte 0.57) con respecto a la Figura 1; la paleta de color indica 0 ausencia y 1 presencia.

Figure 2. Boolean reclassification of the distribution of *Aspidoscelis gularis* complex depicts medium and high probability areas (threshold 0.57) with respect to Figure 1; the color palette indicate 0 absence and 1 presence.



DISCUSIÓN

El modelo booleano (Figura 2) propone que la distribución potencial del complejo *A. gularis* se encuentra principalmente en el Altiplano Mexicano, similar a lo publicado en estados como Chihuahua (Lemos-Espinal y Smith, 2007), Durango (Valdez-Lares y col., 2013), Zacatecas, Aguascalientes (Vázquez-Díaz y Quintero-Díaz, 2005), San Luis Potosí (Lemos-Espinal y Dixon, 2013), Nuevo León (Lazcano y col., 2009), Tamaulipas (Contreras-Lozano y col., 2013), Querétaro, Guanajuato, Michoacán (Walker, 1981b; Wrigth, 1993), Jalisco (Flores-Cobarrubias y col., 2012), Hidalgo (Ramírez-Bautista y col., 2010; Manríquez-Morán y Orozco-Rodríguez, 2011), lo que sugiere que el mapa de aptitud (modelo booleano) obtenido con el punto de corte seleccionado representa mejor la distribución del complejo (Figura 2).

Sin embargo, la Figura 1 muestra la presencia de taxones del complejo en Veracruz y el Distrito Federal con probabilidad de presencia baja, los cuales fueron eliminados con el modelo booleano (Figura 2), por lo que es necesario

Figura 3

Distribución potencial del complejo *Aspidoscelis gularis* según la CONABIO (Ochoa-Ochoa y col., 2006). Figure 3. Potential distribution of *Aspidoscelis gularis* complex by CONABIO (Ochoa-Ochoa y col., 2006).



Tabla 3

Variables de peso obtenidos con el módulo Weight en IDRISI Taiga.
Table 3. Weight variables obtained by the Weight module in IDRISI Taiga.

Variable	Eigenvector	Fuente
Vegetación	0.272 3	INEGI
Precipitación del trimestre más frío	0.177 1	
Temperatura promedio anual	0.156 6	Worldclim
Precipitación del trimestre más cálido	0.107 4	
Temperatura estacional	0.087 3	

realizar una verificación en campo para incrementar los registros en estas zonas y corroborar la tendencia sugerida en la literatura publicada sobre los integrantes del complejo en estas zonas (Walker, 1981a; Wright, 1993; Hernández-Gallegos y col., 2009). Por ejemplo, en el Distrito Federal se ha documentado la existencia de una población de *A. septemvittata* (complejo *A. gularis*), lo que sugiere el límite de distribución más sureño para este taxón; no obstante, es necesario llevar a cabo análisis moleculares y morfológicos para los taxones de este sitio (Hernández-Gallegos y col., 2009).

De acuerdo a la Figura 2 existe una probabilidad alta de presencia del complejo *A. gularis* en el estado de Puebla, entidad que no se encuentra reportada en la literatura y que pertenece a la región del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, el cual por su ubicación representa la distribución más sureña de las regiones de vegetación árida de México. Sin embargo, en esta zona se encuentran reportadas cuatro especies del género *Aspidoscelis*: *A. parvisocia*, *A. costata*, *A. sacki* (Canseco-Márquez y Gutiérrez-Mayén, 2010) y *A. alpina* (Méndez-De la Cruz y col., 2003), que por su cercanía filogenética (Reeder y col., 2002) y simpatria, pueden seleccionar hábitats semejantes al de los taxones del complejo *A. gularis*. Además, los integrantes del género *Aspidoscelis* (considerado un grupo complicado por Lowe, 1993) y particularmente los taxones distribuidos en estas zonas que pertenecen al grupo sexlineata, presentan problemas taxonómicos por resolver, debido a que son similares en características ecológicas, fisiológicas, evolutivas y conductuales.

Al comparar el modelo de la Figura 2 con el propuesto por la CONABIO (Figura 3), ambos muestran un área común de 98732.6 km², que representan el 33.25 % de la distribución potencial generada en este trabajo y el 39.05 % de la distribución sugerida por la CONABIO. Sin embargo, aunque el área común es mayor en el modelo elaborado por la CONABIO, la distribución potencial sugerida en la Figura 2 propone una

estructura biogeográfica asociada con el tipo de vegetación árida típica del desierto Chihuahuense. Por lo tanto, la relación de la vegetación con los taxones del complejo *A. gularis* puede promover un factor que limita su distribución (Tabla 3). La limitación en la distribución de una especie, asociada con la vegetación del ecosistema ha sido reportada previamente para otros grupos de reptiles que se han adaptado morfológica y ecológicamente (por ejemplo locomoción) a este tipo de hábitat (Morafka, 1977; Granados-Contreras y col., 2011). Es necesario realizar trabajo de campo, así como análisis morfológicos y moleculares en Puebla (Valle de Tehuacán-Cuicatlán) y en los otros estados no reportados (Oaxaca, Tlaxcala y Nayarit), para confirmar la tendencia generada por el modelo aquí presentado, y eliminar sesgos generados por los problemas taxonómicos anteriormente mencionados.

A pesar de que la vegetación es una variable dinámica y se considera para trabajos con una escala de tiempo de magnitud corta (Peterson y col., 2011), fue necesario incluirla en el modelo de distribución potencial propuesto, porque los reptiles y en especial los taxones que componen el género *Aspidoscelis* llevan a cabo interacciones y procesos que dependen de esta variable para maximizar su adecuación (Cuellar, 1993; Wright, 1993). No se descarta que esta variable haya sufrido modificaciones a través de los años; sin embargo, es importante remarcar que esta distribución (Figura 2) concuerda con la mayoría de las localidades reportadas y

con las localidades de colecta realizadas en los meses de mayo y junio 2013. Solo en estados no reportados, como Puebla, Oaxaca, Tlaxcala y Nayarit es necesario verificar la tendencia aquí presentada (Figura 2).

También es importante considerar que muchos taxones (no solo lacertilios) pueden desempeñarse y evolucionar de manera independiente con respecto a las características y estructura del microhábitat, variaciones ambientales (Wright, 1993; Peterson, 2011) e interacciones bióticas y abióticas, factores que pueden limitar la distribución de los diferentes ensamblajes del grupo sexlineata y en este caso de los taxones del complejo *A. gularis* asociados simpátricamente en el Altiplano Mexicano (Cuellar, 1993). Asimismo, la temperatura y precipitación (Tabla 3), para los taxones del complejo y otros escamados, son factores importantes que determinan su desempeño óptimo (ecológico, fisiológico y conductual) en el ambiente (Wright, 1993), lo que promueve su permanencia dentro del hábitat, impactando directamente en su adecuación (sobrevivencia y reproducción) (Vitt y Caldwell, 2013). Sin embargo, las presiones impuestas, producto de interacciones bióticas y abióticas, promueven variación en características de historia de vida y procesos de especiación, los cuales son difíciles de mostrar en los modelos, porque tales procesos se llevan a cabo dentro de escalas más finas (Miller, 2010; Sangermano y Eastman, 2012).

Por lo anterior, para robustecer la información en los modelos de distribución potencial se deben conducir

estudios filogenéticos (Soberón y Petersón, 2004; Raxworthy y col., 2007), filogeográficos (Wiens y Penkrot, 2002; Leaché y col., 2009; Peterson, 2009) y ecológicos (Rissler y col., 2006) previos, con información a escala regional de los grupos de interés, porque actualmente los cambios y alteraciones en los hábitats naturales promovidos por el cambio de uso de suelo (factores antropogénicos) y temperatura (cambio climático global) han generado cambios en las distribuciones, disminución de las poblaciones, procesos evolutivos drásticos y eventos de extinción (Huey y col., 2010; Sinervo y col., 2010). Por lo tanto, actualizar el conocimiento de los aspectos anteriormente mencionados es

importante para promover más y mejores proyectos enfocados a la conservación de reptiles y vertebrados en México (Avisé, 2000; Domínguez-Domínguez y Vázquez-Domínguez, 2009; Camargo y col., 2010).

CONCLUSIONES

El modelo de distribución potencial generado en el presente estudio confirma que el complejo *A. gularis* se encuentra en estados que pertenecen al Altiplano Mexicano y permite complementar la información actualmente disponible a través de la CONABIO. La distribución del complejo *A. gularis* dentro del Altiplano Mexicano estuvo asociada estrechamente con la vegetación clasificada como

desierto Chihuahuense, la que podría imponer un límite en su distribución en el norte y hacia el centro de México (Franja Volcánica Transmexicana), similar a otros grupos de reptiles adaptados morfológica y ecológicamente al tipo de hábitat presente en esta zona. ■

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la fundación Santander-ECOES por el apoyo financiero brindado, a la MAEG. Giovanna Santana Castañeda por su ayuda y comentarios con respecto al método y edición de mapas. Y un agradecimiento especial al Dr. Delfino Madrigal Uribe por su apoyo académico y comentarios sobre este y otros temas anteriores a su fallecimiento.

REFERENCIAS

- Angilletta, M. J. (2001). Thermal and Physiological Constraints on Energy Assimilation in a Widespread Lizard (*Sceloporus undulatus*). *Ecology*, 82(11): 3044-3056.
- Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. y Loa, E. (2000). *Regiones Terrestres Prioritarias de México*. México: CONABIO. 4 Pp.
- Avisé, J. C. (2000). *Phylogeography, the History and Formation of Species*. Cambridge: Harvard University Press. 447 Pp.
- Canseco-Márquez, L. y Gutiérrez-Mayén, G. (2010). *Anfibios y Reptiles del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. México: CONABIO. 292 Pp.
- Camargo, A., Sinervo, B. y Sites-Jr. J. W. (2010). Lizards as Model Organisms for Linking Phylogeographic and Speciation Studies. *Molecular Ecology*, 19: 3250-3270.
- Congdon, J. D. (1989). Proximate and Evolutionary Constraints on Energy Relations of Reptiles. *Physiological Zoology*, 62(2): 356-373.
- Cuellar, O. (1993). Further Observations on Competition and Natural History of Coexisting Parthenogenetic and Bisexual Whiptails Lizards. En J. W. Wright, y L. J. Vitt (Eds.), *Biology of Whiptail Lizards* (Genus *Cnemidophorus*) (pp. 345-415). Oklahoma: Oklahoma Museum of Natural History.
- Domínguez-Domínguez, O. y Vázquez-Domínguez, E. (2009). Filogeografía: Aplicaciones en Taxonomía y Conservación. *Animal biodiversity and conservation*, 32(1): 59-70.
- Duellman, W. E. y Zweifel, R. (1962). A Synopsis of the Lizards of the *Sexlineatus* Group (genus *Cnemidophorus*). *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 3(123): 155-210.
- Eastman, R. J. (2006). *IDRISI Andes Guide to GIS and Image Processing*. Worcester, Massachusetts, USA: Clark Labs. 303 Pp.
- Enderson, E. F., Quijada-Macarena, A., Turner, D. S., Rosen, P. C. y Bezy, R. L. (2009). The Herpetofauna of Sonora, Mexico, with comparisons to adjoining states. *Check List*, 5(3): 632-672.
- Espinosa, D. y Ocegueda, S. (2008). El Conocimiento Biogeográfico de las Especies y su Regionalización Natural. En J. Soberón, G. Halfpeter y J. Llorente-Bousquets (Eds.), *En Capital Natural de México, Vol. I: Conocimiento Actual de la Biodiversidad* (pp. 33-65). México: CONABIO.
- Fielding, A. H. y Bell, J. F. (1997). A Review of Methods for the Assessment of Prediction Errors in Conservation Presence/Absence Models. *Environmental Conservation*, 24(1): 38-49.
- Flores-Cobarrubias, F., Cruz-Saénz, D. y Lazcano, D. (2012). Notes on the Herpetofauna of Western Mexico 6: Amphibians and Reptiles of Hostotipaquillo, Jalisco, Mexico. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society*, 47(2): 21-26.
- Granados-Contreras, D., Sánchez-González, A., Granados-Victorino, R. L. y Borja de la Rosa, A. (2011). Ecología de la Vegetación del Desierto Chihuahuense. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17: 111-130.
- GBIF, Global Biodiversity Information Facility (2014). Registros de presencia de *Aspidoscelis gularis*. [En línea]. Disponible en: <http://www.gbif.org/>. Fecha de consulta: 23 de octubre de 2012.
- Hernández-Gallegos, O., Rodríguez-Romero, F. J., Sánchez-Nava, P., and Méndez-de la Cruz, F. (2009). Rediscovered Population of Mexican Plateau Spotted Whiptail Lizard, *Aspidoscelis septemvittata* (Teiidae), From México, D.F. *Western North American Naturalist*, 69(1): 49-55.
- HerpNet2(2014). Registros de presencia de *Aspidoscelis gularis*. [En línea]. Disponible en: <http://www.herpNet2.org/>. Fecha de consulta: 23 de octubre de 2012.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., and Jarvis, A. (2005). Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978.
- Hirzel, A. H., Le-Lay, G., Helfer, V., Randin, C., and Guisan, A. (2006). Evaluating the Ability of Suitability Models to Predict Species Presences. *Ecological Modelling*, 199: 142-152.
- Huey, R., Lossos, J. B., and Moritz, C. (2010). Are Lizards Toast?. *Science*, 328: 832-833.
- Hutchinson, G. E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology*, 22: 415-457.
- Leaché, A. D., Koo, M. S., Spencer, C. L., Papenfuss, T. J., Fisher, R. N., and McGuire, J. M. (2009). Quantifying Ecological, Morphological, and Phylogenetic Divergence to Delimit in the Coast Horned Lizard Species Complex (Genus *Phrynosoma*). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 106: 12418-12423.
- Lazcano, D., Contreras-Lozano, J. A., Gallardo-Valdez, J., García del Peña, C., and Castañeda, G. (2009). Notes on Mexican Herpetofauna 11: Herpetological Diversity in Sierra "Cerro de la Silla" (Sedleback Mountain), Nuevo Leon, Mexico. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society*, 44(2): 21-27.

- Lemos-Espinal, J. A. y Smith, H. M. (2007). *Anfibios y Reptiles del Estado de Chihuahua*. México: UNAM-CONABIO. 613 Pp.
- Lemos-Espinal, J. A., and Dixon, J. R. (2013). *Amphibians and Reptiles of San Luis Potosí*. EUA: Eagle Mountain Publishing. 312 Pp.
- Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., and Real, R. (2007). AUC: A Misleading Measure of the Performance of Predictive Distribution Models. *Global Ecology and Biogeography*. 17: 145-151.
- Lowe, C. (1993). Introduction to the Biology of Whiptail Lizard (Genus *Cnemidophorus*). En J. W. Wright, y L. J. Vitt (Eds.), *Biology of Whiptail lizards* (Genus *Cnemidophorus*) (pp. 01-25). Oklahoma: Oklahoma Museum of Natural History.
- Manríquez-Morán, N. y Orozco-Rodríguez, L. D. (2011). Patrón de Coloración de *Aspidoscelis gularis* en el Estado de Hidalgo. *Herreriana*. 7(1): 1-2.
- Méndez-de la Cruz, F., Hernández-Gallegos, O. y Rodríguez-Romero, F. (2003). *Cnemidophorus alpinus*. Elaboración de fichas de 5 especies de lacertilios: PROY-NOM-059-ECOL-2000. Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto W033. México. D.F.
- Miller, J. (2010). Species Distribution Modeling. *Geography Compass*. 4(6): 490-509.
- Newbold, T. (2010). Applications and Limitations of Museum Data for Conservation and Ecology, with Attention to Species Distribution Models. *Progress in Physical Geography*. 34(1): 3-24.
- Ochoa-Ochoa, L., Flores-Villela, O., García-Vázquez, U., Correa-Cano, M. y Canseco-Márquez, L. (2006). Áreas Potenciales de Distribución de la Herpetofauna de México. Especie: *Aspidoscelis gularis* (Recortes). Extraído del Proyecto DS009: Áreas Potenciales de Distribución y GAP Análisis de la Herpetofauna de México. Museo de Zoología Alfonso L. Herrera Facultad de Ciencias, UNAM-CONABIO.
- Pearson, R. G. (2007). Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. *Synthesis. American Museum of Natural History*. 1-50Pp.
- Peterson, A. T. (2009). Phylogeography is Not Enough: The Need for Multiple Lines of Evidence. *Frontiers of Biogeography*. 1(1): 1-7.
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., and Bastos-Araújo, M. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. EUA: Princeton University Press. 315 Pp.
- Plissock, P. y Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la Distribución de Especies y Ecosistemas en el Tiempo y en el Espacio: Una Revisión de las Nuevas Herramientas y Enfoques Disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*. 48: 61-79.
- Raxworthy, C. J., Ingram, C. M., Rabibisoa, N., and Pearson, R. G. (2007). Applications of the Ecological Niche Modeling for Species Delimitation: A Review and Empirical Evaluation Using Day Geckos (*Phelsuma*) From Madagascar. *Systematic Biologists*. 56(6): 907-923.
- Ramírez-Bautista, A., Smith, G. R., and Hernández-Ibarra, X. (2009). Reproduction and Sexual Dimorphism in the Whiptail Lizard *Aspidoscelis gularis* (Squamata: Teiidae) in Guadalcázar, San Luis Potosí, México. *The Southwestern Naturalist*. 54(4): 453-460.
- Ramírez-Bautista, A., Hernández-Salinas, U., Mendoza-Quijano, F., Cruz-Elizalde, R., Stephenson, B. P., Vite-Silva, V. D. y Leyte-Manrique, A. (2010). *Lista Anotada de los Anfibios y Reptiles del Estado de Hidalgo, México*. México: CONABIO-UAEH. 104 Pp.
- Reeder, T. W., Cole, C. J., and Dessauer, H. C. (2002). Phylogenetic Relations of Whiptail Lizards of the Genus *Cnemidophorus* (Squamata: Teiidae): A Test of Monophyly, Reevaluation of Karyotypic Evolution, and Review of Hybrid Origins. *American Museum, Novitates*. 3365: 1-61.
- Rissler, L. J., Hijmans, R. J., Graham, C. H., Moritz, C., and Wake, D. B. (2006). Phylogeographic Lineages and Species Comparisons in Conservation Analyses: A Case Study of California Herpetofauna. *The American Naturalist*. 167(5): 655-666.
- Sangermano, F. y Eastman, R. (2007). Linking GIS and Ecology: The Use of Mahalanobis Typicalities to Model Species Distribution. En G. D. Buzai (Ed.), *Memorias XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica, Buenos Aires*.
- Sangermano, F. y Eastman, J. R. (2012). A GIS Framework for the Refinement of Species Geographic ranges. *International Journal of Geographical Information Science*. 26(1): 39-55.
- Schall, J. J. (1993). Community Ecology of *Cnemidophorus* Lizards in Southwestern Texas: a Test of the Weed Hypothesis. En J. W. Wright y L. J. Vitt (Eds.), *Biology of Whiptail Lizards* (Genus *Cnemidophorus*) (pp. 319-343). Oklahoma: Oklahoma Museum of Natural History.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010). Norma oficial Mexicana. NOM-059-ECOL-2010, Protección ambiental, especies nativas de México, flora y fauna silvestre-categorías de riesgo y especificación por su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. México, D. F.
- Sinervo, B., Méndez-de-la-Cruz, F., Miles, D. B., Heulin, B., Bastiaans, E., Villagrán-Santa Cruz, M., Lara-Resendiz, R., Martínez-Méndez, N., Calderón-Espinosa, M. L., Meza-Lázaro, R. N., Gadsden, H., Ávila, L. J., Morando, M., De la Riva, I. J., Sepúlveda, P.V., Duarte-Rocha, C. F., Ibargüengoytia, N., Aguilar-Puntriano, C., Massot, M., Lepetz, V., Oksanen, T. A., Chapple, D. G., Bauer, A. M., Branch, W. R., Clobert, J., and Sites-Jr., J. W. (2010). Erosion of Lizard Diversity by Climate Change and Altered Thermal Niches. *Science*. 328: 894.
- Soberón, J. and Peterson, A. T. (2004). Biodiversity Informatics: Managing and Applying Primary Biodiversity Data. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. 1444(359): 689-698.
- Tomlinson, R. (2007). *Pensando en el SIG. Palnificación del Sistema de Información Geográfica Dirigida a Gerentes*. Estados Unidos de América: ESRI Press. 257 Pp.
- Valdez-Lares, R., Muñoz-Martínez, R., Gadsden, H., Aguirre-León, G., Castañeda-Gaytán, G., and González-Trápaga, R. (2013). Checklist of Amphibians and Reptiles of the State of Durango, México. Check List. *Journal of Species List and Distribution*. 9(4): 714-724.
- Vázquez-Díaz, J. y Quintero-Díaz, G. E. (2005). *Anfibios y Reptiles de Aguascalientes*. Mexico: CONABIO-CIEMA. 318 Pp.
- Vitt, L. J. and Breintebach, G. L. (1993). Life Histories and Reproductive Tactics Among Lizards in the Genus *Cnemidophorus* (Sauria: Teiidae). En J. W. Wright, y L. J. Vitt (Eds.), *Biology of Whiptail Lizards* (Genus *Cnemidophorus*) (pp. 211-244). Oklahoma: Oklahoma Museum of Natural History.
- Vitt, L. J. and Caldwell, J. (2013). *An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles*. China: Academic Press. 751 Pp.
- Walker, J. M. (1981a). Systematics of *Cnemidophorus gularis*. I. Reallocation of Populations Currently Allocated to *Cnemidophorus gularis* and *Cnemidophorus scalaris* in Coahuila, México. *Copeia*. 1981: 826-849.
- Walker, J. M. (1981b). Systematics of *Cnemidophorus gularis* II. Specific and Subspecific Identity of the Zacatecas Whiptail (*Cnemidophorus gularis semiannulatus*). *Copeia*. 1981: 850-868.
- Wiens, J. J. and Penkrot, T. L. (2002). Delimiting Species Based on DNA and Morphological Variation and Discordant Species Limits in Spiny Lizards (*Sceloporus*). *Systematic Biology*. 51: 69-91.
- WorldClim, Global Climate Data (2014). Current conditions (interpolations of observed data, representative of 1950-2000). [En línea]. Disponible en: <http://www.worldclim.org/>. Fecha de consulta: 23 de octubre de 2012.
- Wright, J. W. (1993). *Evolution of Whiptail Lizards* (Genus *Cnemidophorus*). En J. W. Wright y L. J. Vitt (Eds.) (pp. 27-81). Oklahoma: Oklahoma Museum of Natural History.