

## Nicho ecológico fundamental de *Ecnomiohyla miotympanum* (Cope, 1863) con DIVA-GIS y MaxEnt

## Fundamental ecological niche of *Ecnomiohyla miotympanum* (Cope, 1863) with DIVA-GIS and MaxEnt

Joaquín Cervantes Serna<sup>1</sup>, Ricardo Serna-Lagunes<sup>1\*</sup>,  
Juan Salazar-Ortiz<sup>2</sup>, Antonio Pérez-Sato<sup>2</sup>

### Resumen

**Objetivo:** Caracterizar el nicho ecológico de *Ecnomiohyla miotympanum* con base en las condiciones ambientales para su desarrollo, usando DIVA-GIS y MaxEnt. **Metodología:** Se obtuvieron datos de presencia de la especie en Global Biodiversity Information Facility. Se descargaron de WorldClim 19 capas ambientales y una topográfica y se recortaron para el polígono envolvente de México. La distribución actual se desarrolló usando el total de registros reportados en la base de datos; la distribución potencial y las variables de mayor importancia para el nicho ecológico se obtuvieron con el software MaxEnt y otro mapa se obtuvo con DIVA-GIS para contrastar los resultados del primer mapa; se determinó la frecuencia de los datos de presencia en función a la altitud y tipo de clima donde se reportaron los registros. **Resultados:** El mapa de nicho ecológico para *E. miotympanum* determinó un modelo robusto, porque los valores del área bajo la curva fueron superiores a 0.9, mientras que DIVA-GIS predijo un mapa similar al primero, corroborando que independiente del algoritmo empleado, es confiable la predicción bioclimática favorable para la especie. **Conclusión:** La precipitación del mes más seco, la temperatura media del trimestre más seco y la elevación, determinaron en un 70%, que en estas condiciones se desarrolla el nicho bioclimático de *E. miotympanum*; la región de la Sierra Madre Oriental, bosque mesófilo de montaña y selva tropical con clima semi cálido húmedo, son los ecosistemas que deberían ser conservados para el mantenimiento de poblaciones viables de esta especie.

**Palabras clave:** Distribución actual y potencial, Máxima entropía, Rana de árbol de orejas chicas.

### Abstract

**Objective:** Characterize the ecological niche of *Ecnomiohyla miotympanum* based on the environmental conditions for its development, using DIVA-GIS and MaxEnt. **Methodology:** Presence data of the species of Global Biodiversity Information Facility were obtained. Nineteen environmental layers and a topographic one was downloaded from WorldClim and cut out for the surrounding polygon of Mexico. The current distribution was developed using the total of records reported in the database; the potential distribution and the most important variables for the ecological niche were obtained with the MaxEnt software and another map was obtained with DIVA-GIS to compare the results of the first map; the frequency of the presence data was determined according to the altitude and type of climate where the records were reported. **Results:** The ecological niche map for *E. miotympanum* determined a robust model, because the values of the area under the curve were higher than 0.9, while DIVA-GIS predicted a map similar to the first, corroborating that independent of the algorithm used, it is reliable the favorable bioclimatic prediction for the species. **Conclusion:** The precipitation of the driest month, the average temperature of the driest quarter and the elevation determined by 70%, that in these conditions the bioclimatic niche of *E. miotympanum* develops; the region of the Sierra Madre Oriental, mesophilic forest of mountain and tropical forest with semi humid warm climate, are the ecosystems that should be conserved for the maintenance of viable populations of this species.

<sup>1</sup> Unidad de Manejo y Conservación de Recursos Genéticos, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. e-mail: [rserna@uv.mx](mailto:rserna@uv.mx)

<sup>2</sup> Campus Córdoba, Colegio de Postgraduados, Córdoba, Veracruz, México.

Fecha recepción: Febrero 2, 2017

Fecha aprobación: Enero 25, 2018

Editor Asociado: Mantilla-Meluk H

**Keywords:** Current and potential distribution, Maximum entropy, Tree frog small ears.

## Introducción

La distribución de especies es definida como la fracción del espacio geográfico donde esta especie habita e interactúa con el ecosistema. La distribución de una especie es resultado de un conjunto de variables que se usan como indicadores de la presencia de la especie; se espera que, individualmente o en una combinación de variables, se definan los factores ambientales que delimitan las condiciones favorables para la presencia de la especie. En este sentido, construir un modelo de distribución de especies es un proceso de clasificación, donde se usan variables dependientes (presencia/ausencia) e independientes (temperatura, elevación, precipitación) o nominales (litología o uso del suelo) (Maciel-Mata *et al.* 2015), también conocidos como modelos de nicho ecológico (Peterson 2001).

México se posiciona como el quinto país en riqueza de anfibios, con una diversidad de 376 especies, con una mayor proporción de especies endémicas (Parra-Olea *et al.* 2014). Sin embargo, es el grupo de vertebrados menos estudiado aunado a que 43% de las especies de anfibios se encuentra amenazada o críticamente amenazada en México, y representa un área de oportunidad para realizar investigación que genere conocimiento para implementar estrategias para su conservación, manejo y aprovechamiento sustentable (Frías-Álvarez *et al.* 2010).

*Ecnomiohyla miotympanum* (Cope, 1863) es una rana endémica de México y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) la cataloga como Casi Amenazada porque su grado de ocurrencia probablemente no es mucho mayor que 20.000 km<sup>2</sup> y su hábitat está en declive, por lo que se clasifica como vulnerable (Santos-Barrera *et al.* 2004). Además, se reporta sobre la pérdida del hábitat de esta especie debido a la deforestación, el cambio de uso de suelo para actividades ganaderas, la reducción de la superficie de los bosques y selvas (Alfaro 2009). El cambio climático global, genera impactos negativos a las poblaciones de anfibios, por la rapidez con la que suceden los cambios ambientales y por la lenta capacidad de adaptación de estas especies a estos cambios; inclusive, existen casos de especies que no

logran adaptarse, por tanto, los estudios ecológicos se fundamentan en estos aspectos (Young *et al.* 2004).

El modelado de nicho ecológico tiene diversas aplicaciones, sobre todo para el diseño de estrategias para la conservación de la biodiversidad (Mateo *et al.* 2011), que mediante el uso de software con algoritmos específicos (Hernández *et al.* 2006), se determinan las características intrínsecas del nicho ecológico fundamental (FN) de la especie, definida por la dimensión climática a diferentes escalas (Soberón y Peterson 2005). El objetivo de este trabajo es caracterizar el modelo de FN de *E. miotympanum*, el cual se conceptualiza como la relación entre el componente ambiental y geográfico que determina la distribución actual y potencial de la especie. Se generaron dos modelos predictivos de distribución, uno con DIVA-GIS v. 4 (Hijmans *et al.* 2004) y MaxEnt v. 3.3.3 k (Phillips *et al.* 2006), porque *E. miotympanum* es una especie con pocas localidades conocidas y, en este contexto, se puede evaluar el grado de cambio de distribución con ambos modelos (Gil y Lobo 2012).

## Metodología

Se emplearon datos de presencia de *E. miotympanum* obtenidos de la base de datos de Global Biodiversity Information Facility (GBIF), porque esta recopila información de colecciones biológicas, museos y datos de campo sobre biodiversidad y particularmente de anfibios. La base de datos obtenida se depuró para obtener la longitud y latitud de los registros de la especie; los datos que presentaron inconsistencias de ubicación no fueron considerados para el análisis. Con la base de datos depurada, se determinó la frecuencia de cada ocurrencia por tipo de clima (García 1998), altitud y estado de la república mexicana con base en las geolocalizaciones de la especie.

Para la modelación bioclimática, se utilizaron 19 capas de temperatura, precipitación y una topográfica (Tabla 1), a una resolución de 30 segundos de arco ( $\approx 1$  km<sup>2</sup> a nivel ecuatorial) (Hijmans *et al.* 2005). La información correspondiente a cada celda de la capa representa los valores ambientales interpolados a partir de datos observados entre los años 1950 al 2000. Estas capas fueron recortadas para las coordenadas extremas: límite norte: 33°, límite sur 14°; límite este -86° y límite oeste -119°, garantizando la inclusión del territorio. Como fondo incluyó el territorio mexicano

**Tabla 1.** Capas climáticas utilizadas en el modelo de nicho ecológico de *E. miotympanum*

Clave	Descripción	Unidades
Bio1	Temperatura media anual	Décimos de grados centígrado
Bio2	Rango medio mensual de temperatura	Décimos de grados centígrado
Bio3	Isotermalidad	Adimensional
Bio4	Estacionalidad de la temperatura	Adimensional
Bio5	Temperatura máxima del mes más cálido	Décimos de grados centígrado
Bio6	Temperatura mínima de mes más frío	Décimos de grados centígrado
Bio7	Rango anual de temperatura	Décimos de grados centígrado
Bio8	Temperatura media del trimestre más lluvioso	Décimos de grados centígrado
Bio9	Temperatura media del trimestre más seco	Décimos de grados centígrado
Bio10	Temperatura media del trimestre más cálido	Décimos de grados centígrado
Bio11	Temperatura media del trimestre más frío	Décimos de grados centígrado
Bio12	Precipitación anual	Milímetros
Bio13	Precipitación del mes más lluvioso	Milímetros
Bio14	Precipitación del mes más seco	Milímetros
Bio15	Estacionalidad de la precipitación	Adimensional
Bio16	Precipitación del trimestre más lluvioso	Milímetros
Bio17	Precipitación del trimestre más seco	Milímetros
Bio18	Precipitación del trimestre más cálido	Milímetros
Bio19	Precipitación del trimestre más frío	Milímetros

con el objetivo de identificar los vacíos en la conservación que existe para este anfibio.

El mapa de distribución actual se realizó usando todos los puntos de presencia de *E. miotympanum*, que fueron graficados en el polígono envolvente del territorio mexicano, con el software ArcGis v. 10. Con DIVA-GIS se determinó la presencia de los puntos de la especie en cada estado de la república mexicana donde previamente no se ha reportado la especie, los cuales se consideraron como nuevos reportes para esos estados. Con este mismo software, se realizó el mapa de la distribución potencial para compararlo con el resultado del software MaxEnt (Phillips y Miroslav 2008), para determinar las variables que se intersectan en el punto de presencia de la especie (Peterson *et al.* 1999) y su probabilidad promedio para cada variable (Phillips *et al.* 2004, 2006).

Se ha estudiado que el tamaño de muestra tiene efectos en la predicción del modelo (Pearson *et al.* 2007, Wisz *et al.* 2008, Williams *et al.* 2009). Cuando se tiene un número alto de muestras, y para evitar sesgos en la predicción, se sugiere particionar los datos en muestras aleatorias para entrenamiento y

calibración (Buirea 2016). En este sentido, las ocurrencias de *E. miotympanum* se particionaron al azar los datos en el 30% y 70%. Este procedimiento se realizó para calibrar el modelo de nicho ecológico y tener una visión sobre los efectos que puede tener el tamaño de muestra en la predicción del modelo. Si las diferencias entre el área bajo la curva (AUC, Area Under Curve) son mínimas (~0.1 a 0.2 de diferencia) entre los modelos de entrenamiento, se usa el 100% de los datos. De acuerdo con Varela *et al.* (2014), para disminuir sesgos y errores en la predicción de los modelos de distribución, se puede usar el 100% de los datos, siempre que se haga una calibración previa del modelo, así como entrenar el modelo en el área accesible, de acuerdo con los conocimientos biológicos de la especie, para precisar las inferencias que se realicen al modelo (Merow *et al.* 2013).

Una vez obtenido el modelo de nicho ecológico, este se evaluó con los valores del AUC, teniendo como criterio un AUC > 0,9 como un buen ajuste del modelo (Peterson *et al.* 2008), que caracteriza el desempeño del modelo de distribución (Phillips *et al.* 2006). El modelo en sí, corresponde a una salida

gráfica (mapa) que muestra la capacidad de discriminación de una presencia (sensitividad) *versus* la capacidad de discriminación de una ausencia (especificidad) (Phillips *et al.* 2004). La escala de colores del mapa de salida logística indica la probabilidad de coincidencia de las condiciones ambientales idóneas para el modelo de nicho ecológico de la especie. Es decir, se usó la salida logística de MaxEnt, porque es una aproximación a la verdadera probabilidad de presencia (Fithian y Hastie 2013) y se puede interpretar como idoneidad del hábitat (Coitiño *et al.* 2013). El color rojo con un valor del umbral superior al 70%, es indicador de la idoneidad del hábitat (Naranjo *et al.* 2014), y conforme se va tornando al gradiente azul, va disminuyendo la probabilidad de que se presenten las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo del nicho ecológico de la especie.

Del modelo también se obtuvo las variables ambientales que son de mayor importancia para el nicho ecológico de la especie. Sin embargo, para tener seguridad de que tales variables sean las correctas, se aplicó la prueba estadística de Jackknife instalada en MaxEnt, para calcular la importancia relativa de cada variable al modelo, las cuales evidencian los requerimientos ecológicos y con base en esto se determina el área (mapa) de distribución potencial de *E. miotympanum* (Sokal y Rohlf 1995, Phillips *et al.* 2006). Para el resto de los parámetros de MaxEnt se mantuvieron los valores establecidos por defecto en el programa, pero se ajustó el *background* 10.000 puntos de “pseudo-ausencias” en la configuración de MaxEnt para disminuir el sesgo del muestreo y la predicción mediante la generación automatizada de puntos de ausencia, siguiendo las características propuestas por Fitzpatrick *et al.* (2013). Además, se obtuvieron las curvas de respuesta para estimar los rangos de tolerancia de cada variable ambiental que determina el nicho fundamental de la especie (Murray *et al.* 2011).

### Resultados

Para la modelación del nicho fundamental de *E. miotympanum* se trabajó con un total de 205 registros de presencia, de los cuales se encontró que 21% estuvieron entre 0 y 500 msnm, 18% entre los 500 y 1.000 msnm, de los 1.000 a los 1.500 msnm se incrementó al 32% de ocurrencias y entre 1.500 a

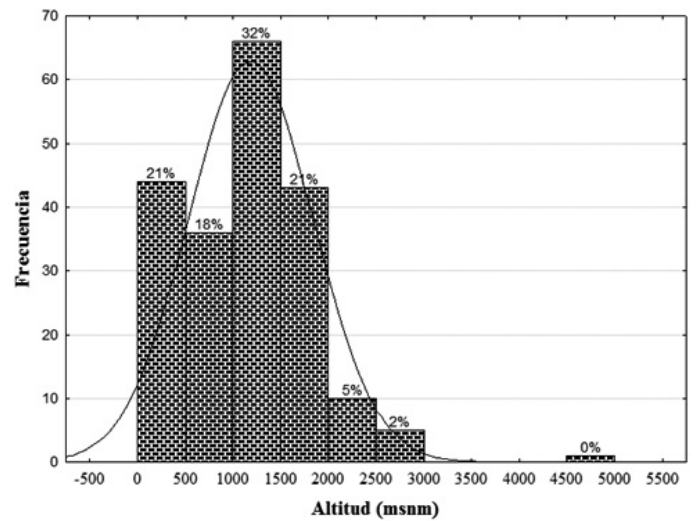


Figura 1. Proporción de ocurrencias de *E. miotympanum* de acuerdo con la altitud reportada.

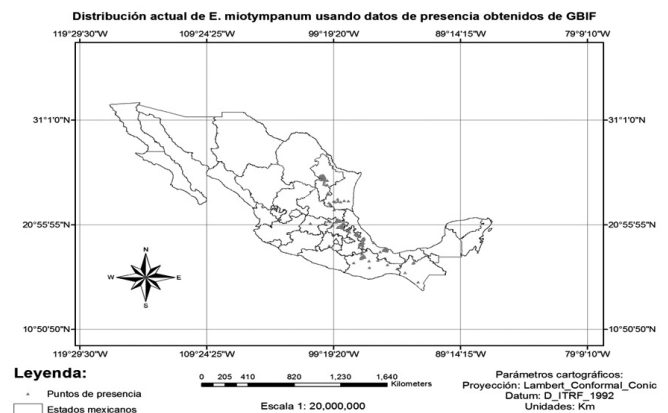


Figura 2. Distribución actual de *E. miotympanum* con datos resumidos del GBIF.

2.000 se obtuvo 21% de presencias; a altitudes superiores a los 2.000 msnm, disminuye el porcentaje de presencias, teniendo como valores máximos y mínimos 5% y 2% de los registros de puntos de presencia (Figura 1), donde gran parte de las ocurrencias se registraron en el tipo de clima semi-cálido húmedo (Tabla 2).

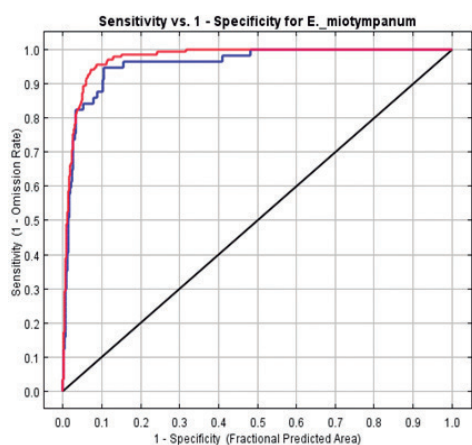
La distribución actual de *E. miotympanum* (Figura 2) incluye los estados de Chiapas, Oaxaca, Puebla, Veracruz, Tlaxcala, Edo. México, Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí, Tamaulipas y Nuevo León. Los valores de AUC de cada modelo de entrenamiento, la diferencia de valores de AUC  $\leq 0,004$  en el 70% y 30% de las pruebas de entrenamiento, lo cual es una predicción confiable del modelo usando el 100% de las ocurrencias, cuyos valores del AUC fueron de 0,972 (Figuras 3, 4 y 5).

Se identificaron las áreas con distribución potencial



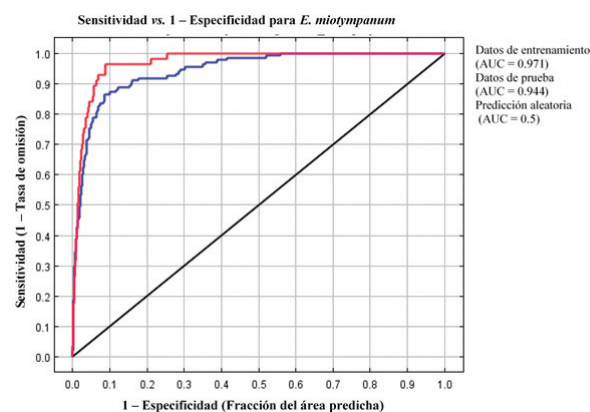
**Tabla 2.** Frecuencia relativa de las ocurrencias de *E. miotympanum* con base al tipo de clima

Tipo de clima	Descripción	Frecuencia relativa (%)
(A)C(m)	Semi-cálido húmedo	28.1
(A)C(w)	Semi-cálido subhúmedo	19.4
Am	Cálido húmedo	10.1
Aw	Cálido subhúmedo	3.2
BS1(h')w	Semiárido cálido	1.9
BS1h	Semiárido semicálido	4.8
BS1kw	Semiárido templado	2.4
BSo(h')w	Árido cálido	1.4
BSo(h)	Árido semicálido	1.3
C(f)	Templado húmedo	8.7
C(w)	Templado subhúmedo	15.9
Cb'(m)	Semifrío húmedo	1.5
Cb'(w2)	Semifrío subhúmedo	1.4

**Figura 3.** Curva de evaluación del modelo de nicho ecológico con el 70% de los datos.

del nicho ecológico de *E. miotympanum* (Figura 6), con valores del AUC de 0,93 (cuando los valores del AUC se acercan a 1, tienen mejor predicción). En la Tabla 3, se presentan los rangos de valores de temperatura y precipitación en los cuales ocurrieron las geolocalizaciones de la especie.

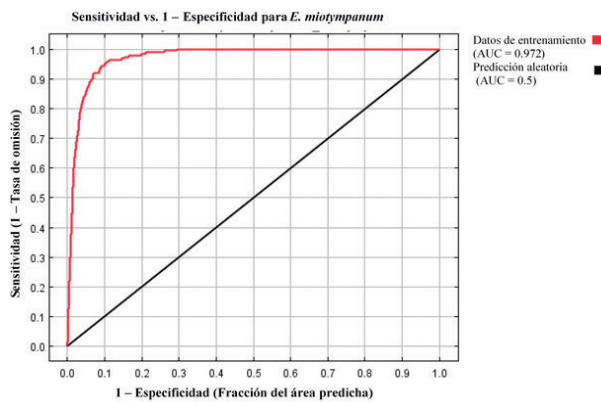
Este mapa representa las zonas con alta probabilidad de ocurrencia, que se interpreta como idoneidad de hábitat para la especie en el territorio mexicano, en una escala de 1:20'000.00. El color rojo indica el alto potencial del territorio (probabilidad >70%), que reúne las condiciones de idoneidad del hábitat y conforme el gradiente de color rojo se va tornando azul (pasando por los colores amarillo y naranja, que indican una probabilidad <70%);

**Figura 4.** Curva de evaluación del modelo de nicho ecológico con el 30% de los datos.

se considera que las áreas que presentan esta coloración no reúnen las condiciones necesarias de idoneidad del hábitat de la especie, siendo estas áreas de bajo potencial de su presencia.

En la Tabla 4 se presentan los valores de importancia relativa de las variables que explican el modelo de nicho ecológico de *E. miotympanum*. De las 20 variables evaluadas, solo cinco de las variables climáticas: Bio14, MDE20, Bio9, Bio7 y Bio13, contribuyeron al modelo con más de 70% (este porcentaje resulta de la suma de los valores de importancia relativa de cada variable en la misma columna), que determina el nicho ecológico de *E. miotympanum*.

La prueba de Jackknife (Figura 7), mostró las variables que aportan mayor información al modelo, cuando

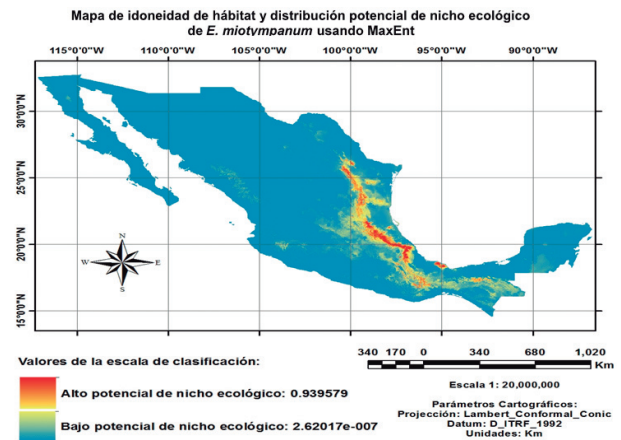


**Figura 5.** Curva de evaluación del modelo de nicho ecológico con el 100% de los datos.

son utilizadas de forma aislada. Esta prueba corroboró que las variables Bio12, Bio14, Bio15 y Bio17, de manera aislada, aportan 0,8 de los valores del AUC del nicho ecológico de *E. miotympanum* porque estas variables son las que presentan mayor valor predictivo. La distribución predicha de *E. miotympanum* realizado por el software DIVA-GIS (Figura 8), muestra condiciones similares a las anteriores creados por MaxEnt, lo cual es resultado de una predicción similar de la idoneidad del ambiente donde prospera esta especie.

### Discusión

Existe escasa información sobre *E. miotympanum*, no se cuenta con datos demográficos para conocer su dinámica poblacional; prácticamente se desconoce sobre su historia de vida y preferencias



**Figura 6.** Distribución potencial de *E. miotympanum* modelada con MaxEnt.

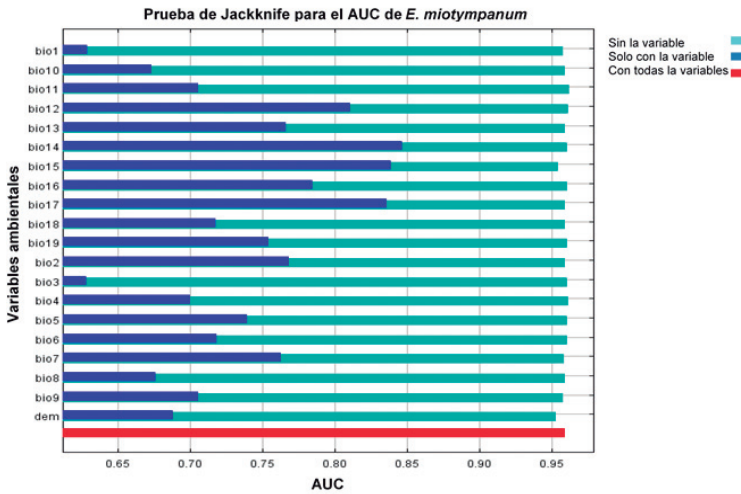
ecológicas (Alfaro 2009), y, en consecuencia, sus poblaciones se enfrentan a la reducción de su hábitat por la deforestación y fragmentación, siendo la información aquí presentada de ayuda a la toma de decisiones respecto a la conservación de áreas potenciales de su distribución.

La mayor presencia de *E. miotympanum* se encontró en un rango de los 0 a los 2.000 msnm, donde posiblemente están las condiciones de su nicho fundamental; sin embargo, 39 % de las presencias corresponden a una altitud de 0 a 1.000 msnm, que son aquellas regiones predichas por el modelo de MaxEnt y que se encuentran cercanas al Golfo de México (Figura 6); la mayoría de las ocurrencias están en el rango de amplitud del clima semi-cálido húmedo, como respuesta a la variabilidad geográfica y

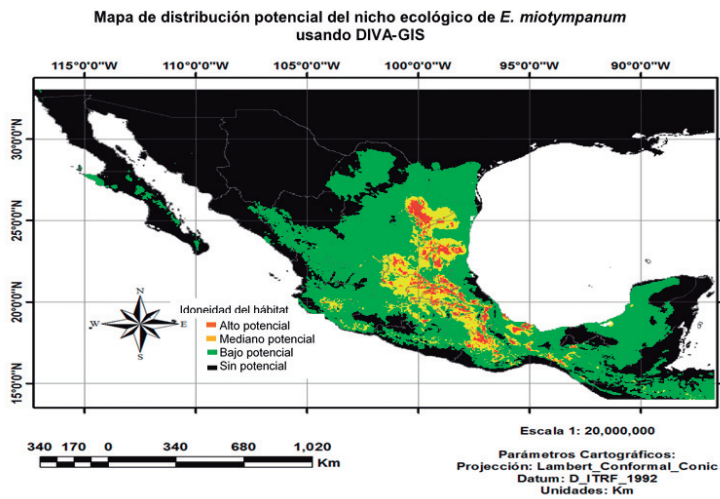
**Tabla 3.** Importancia relativa de variables climáticas y topográfica del nicho ecológico de *E. miotympanum*

Variables de temperatura	Importancia (%)	Variables de precipitación	Importancia (%)	Variable topográfica	Importancia
Bio1	2.6	Bio12	0.5	MDE	12.7*
Bio2	3.7	Bio13	8*		
Bio3	0.3	Bio14	31.8*		
Bio4	2.4	Bio15	7.2		
Bio5	2.4	Bio16	0.8		
Bio6	2.9	Bio17	0.1		
Bio7	10.2*	Bio18	0.3		
Bio8	0.9	Bio19	0.8		
Bio9	11*				
Bio10	0.1				

\* La suma total de porcentajes por columna es mayor al 70%



**Figura 7.** Importancia relativa de cada variable según prueba de Jackknife expresando en valores de ganancia, cuando la variable es usada de forma aislada en el modelo.



**Figura 8.** Distribución potencial de *E. miotympanum* usando DIVA-GIS.

ambiental de México, que ocurre al este de México (INEGI 2014) y que coincide con la distribución potencial de la especie. En el mapa generado (Figura 2), se aprecia que la especie tiene una distribución restringida a la zona montañosa de la Sierra Madre Oriental, donde se desarrolla el bosque mesófilo de montaña y la selva tropical (Audesirk *et al.* 2004). De acuerdo con la distribución conocida reportada por Ochoa-Ochoa *et al.* (2006), con este mapa se incrementa en 20% el área de distribución potencial para la especie en la república mexicana.

Los valores obtenidos del AUC (Figuras 3, 4 y 5), indican que los modelos fueron consistentes para clasificar la presencia e idoneidad del nicho ecológico; asimismo, reflejan que los cambios en la composición muestral no afectaron la predicción. Es decir,

independientemente del tamaño de muestra que se utilice, el modelo mantuvo un patrón de predicción similar, considerándose con esto, la generación de un modelo de nicho ecológico robusto (Fielding y Bell 1997). Las curvas se localizan en el extremo izquierdo superior, e indican que no hay error de omisión (100% de sensibilidad) ni error de comisión (100% de especificidad) (Cruz-Cárdenas *et al.* 2014).

El mapa del modelo predijo (a partir de la distribución actual y aplicando el algoritmo de máxima entropía), áreas con condiciones para el desarrollo del nicho de *E. miotympanum* en los estados de Sinaloa, Jalisco, Coahuila, Michoacán, Campeche y Yucatán. Una de las implicaciones de los modelos de nicho, es identificar zonas con características idóneas donde se desarrolla la especie y estimar los cambios potenciales en la distribución de la especie; por tanto, los modelos generados están cumpliendo con estos requerimientos y características (Austin 2007). La información de las zonas predichas, es útil para realizar monitoreo, corroborar la presencia de la especie y ampliar su distribución actual. Además, en caso de que eventualmente se requiera realizar un programa de rescate de *E. miotympanum*, se pueden llevar (translocación por actividad humana) individuos de las poblaciones de la distribución, a las áreas donde el modelo predice que hay características similares del nicho ecológico fundamental para *E. miotympanum*; de darse esta situación, se deben considerar estudios previos que identifiquen los depredadores naturales para esta especie, para evitar que se convierta en plaga o cause un desequilibrio ambiental.

Dos variables de precipitación, dos de temperatura y la altitud fueron identificadas en el modelo de nicho ecológico de *E. miotympanum* y constituyen los requerimientos ecológicos del área de distribución potencial, los cuales son propios, característicos y únicos para la especie modelada (Liria y Navarro 2010). Una explicación ecológica en este sentido es que *E. miotympanum* tiene predilecciones por zonas húmedas, donde las temperaturas son bajas y con alta humedad, lo cual coincide con que estos regímenes climáticos son utilizados por los anfibios (Urbina-Cardona y Flores-Villela 2010). En conjunto, las variables

**Tabla 4.** Rango de valores de las curvas de respuesta sobre la probabilidad de presencia de *E. miotypanum*

Variable	°C	Variable	mm
Bio1	18-25.1	Bio12	498-1900
Bio2	12.5-16	Bio13	100-700
Bio3	4.6-5	Bio14	5-140
Bio4	10-21	Bio15	40-93
Bio5	11-13	Bio16	900-1000
Bio6	0	Bio17	0-160
Bio7	13-29	Bio18	190-200
Bio8	28-29	Bio19	90-330
Bio9	11.1-13		
Bio10	20-29		
Bio11	13-21		

Bio14 y Bio13 de precipitación del período más seco (mm) y precipitación del período más lluvioso (mm) respectivamente, son las variables ambientales que biológicamente influyen en el proceso de reproducción de la rana *E. miotypanum*, porque cuando ocurre la temporada de lluvia (precipitación del mes más lluvioso) se dan los eventos reproductivos y desove (Alfaro 2009).

Ambos modelos, el de DIVA-GIS y MaxEnt predijeron características similares de la idoneidad del ambiente donde prospera *E. miotypanum*, haciendo que los resultados de ambos modelos sean fiables en su descripción (Elith *et al.* 2006). El modelo de DIVA-GIS predijo áreas color verde con <20%, áreas color amarillo >21% y <60%, y áreas color rojo >60% de idoneidad del hábitat para *E. miotypanum* (Figura 8). Esta última área es superior a la predicha por MaxEnt, sin embargo, coinciden en un 60% de superficie con idoneidad de hábitat.

## Conclusiones

La distribución del nicho ecológico obtenida para *E. miotypanum* es diferente al reportado por Ochoa-Ochoa *et al.* (2006) usando GARP, porque este algoritmo encuentra regiones del mapa que son similares a las determinadas por los puntos de entrenamiento. MaxEnt y DIVA-GIS predijeron las zonas donde ocurre la especie, determinaron que la elevación, la precipitación del mes más seco y la temperatura

media del trimestre más seco fueron las variables de mayor importancia para su nicho fundamental, siendo los estados de Sinaloa, Jalisco, Coahuila, Michoacán, Campeche y Yucatán donde se pueden encontrar nuevas poblaciones de *E. miotypanum* pero que también son las áreas de oportunidad para la conservación del nicho bioclimático de la especie. Se notó un patrón de distribución restringido a la zona montañosa de la Sierra Madre Oriental, con una mayor proporción de presencias entre los 500 y 2.000 msnm, lo cual coincide con la distribución natural de selvas tropicales y bosque mesófilo de montaña; por tanto, si se requiere establecer zonas prioritarias para la conservación, se deben incluir estos ecosistemas, para que se conserve esta y otras especies de anfibios y reptiles. Sin embargo, existe un vacío en la conservación de este anfibio, porque solo cinco áreas naturales protegidas se encuentran establecidas en las zonas con bajo potencial de distribución para esta especie, conservando cerca del 1% de su zona de distribución.

## Literatura citada

- Alfaro MC. 2009. *Densidad y microhábitat de la rana arbórea Ecnomihyla miotypanum (Cope, 1863) en la región centro de Veracruz.* (Trabajo de grado). Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Veracruz, México. 40 pp.
- Audesirk T, Audesirk G, Byersc BE. 2004. *Biología, ciencia y naturaleza.* México: Pearson Educación; 534 pp.
- Austin M. 2007. Species distribution models and ecological theory: a critical assessment and some possible new approaches. *Ecol Model.* 200 (1-2): 1-19.
- Buira A. 2016. Aplicación de modelos de nicho ecológico para la localización de seis plantas amenazadas en el Parque Natural de Els Ports (noreste de la Península Ibérica). *Pirineos 171:* 1-14. Disponible en: <http://pirineos.revistas.csic.es/index.php/pirineos/article/view/264/304>
- Coitiño HI, Montenegro F, Fallabrino A, González EM, Hernández D. 2013. Distribución actual y potencial de *Cabassous tatouay* y *Tamandua tetradactyla* en el límite de su distribución: implicancias para su conservación en Uruguay. *Edentata.* 14: 23-34. Disponible en: <http://www.bioone.org/doi/pdf/10.5537/020.014.0104>
- Cruz-Cárdenas G, López-Mata L, Villaseñor JL, Ortiz E. 2014. Potential species distribution modeling and the use of principal component analysis as predictor variables. *Rev Mex Biodiv.* 85 (1): 189-199.
- Elith J, Graham CH, Anderson RP, Dudik M, Ferrier S, Guisan A, et al. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography.* 29: 129-51. Disponible en: <http://rob.schapiere.net/papers/>



- [nceas.pdf](#)
- Fielding AH, Bell JF. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environ Conserv.* 24: 38-49.
- Fithian W, Hastie T. 2013. Finite-sample equivalence in statistical models for presence-only data. *Ann Appl Stat.* 7 (4): 1917-39. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4258396/>
- Fitzpatrick MC, Gotelli NJ, Ellison AM. 2013. MaxEnt versus MaxLike: empirical comparisons with ant species distributions. *Ecosphere.* 4 (5): 1-15. Disponible en: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1890/ES13-00066.1>
- Frías-Álvarez P, Zúñiga-Vega JJ, Flores-Villela O. 2010. A general assessment of the conservation status and decline trends of Mexican amphibians. *Biodivers Conserv.* 19 (13): 3699-742. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10531-010-9923-9>
- García E. 1998. *Climas. Clasificación de Köppen, modificado por García. Escala 1: 1000000*. México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/clima1mgw.png>
- Gil, GE, Lobo JM. 2012. El uso de modelos predictivos de distribución para el diseño de muestreos de especies poco conocidas. *Mastozool Neotrop.* 19 (1): 47-62. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=45723408005>
- Hernández PA, Graham CH, Master LL, Albert DL. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance different species distribution modeling methods. *Ecography.* 29 (5): 773-85. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2006.04700.x>
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. 2005. Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int J Climatol.* 25: 1965-1978. Disponible en: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/joc.1276>
- Hijmans RJ, Guarino L, Jarvis A, O'Brien R, Mathur P, Rojas E, et al. 2004. *DIVA-GIS v. 5.2*. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), International Potato Center (CIP), UC Berkeley Museum of Vertebrate Zoology, The Secretariat of the Pacific Community and others including SINGER/SGRP, FAO, USDA, SENASA, and BMZ. Disponible en: <http://www.diva-gis.org/>
- INEGI. *División política estatal*. Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Disponible en: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/default.aspx?tema=me>
- Liria J, Navarro JC. 2010. Modelo de nicho ecológico en *Haemagogus williston* (Diptera: Culicidae), vectores del virus de la fiebre amarilla. *Rev Biomed.* 21 (3): 149-161. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3713325>
- Maciel-Mata CA, Manríquez-Morán N, Octavio-Aguilar P, Sánchez-Rojas G. 2015. El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Univ.* 25 (2): 03-19. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/au/v25n2/v25n2a1.pdf>
- Mateo RG, Felicísimo AM, Muñoz J. 2011. Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. *Rev Chil Hist Nat.* 84: 217-40. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnat/v84n2/art08.pdf>
- Merow C, Smith MJ, Silander JA. 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography.* 36: 1058-69. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Murray KA, Retallick RW, Puschendorf R, Skerratt LF, Rosauer D, McCallum HI, et al. 2011. Assessing spatial patterns of disease risk to biodiversity: implications for the management of the amphibian pathogen, *Batrachochytrium dendrobatidis*. *J Appl Ecol.* 48 (1): 163-73. Disponible en: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2664.2010.01890.x>
- Naranjo M, Moreno AC, Martín S. 2014. ¿Dónde buscar troglobiontes? Ensayo de una cartografía predictiva con MaxEnt en Gran Canaria (islas Canarias). *Arxius de Miscel·lània Zoològica.* 12: 83-92. Disponible en: [http://amz.museocienciasjournals.cat/files/AMZ\\_vol\\_12\\_2014\\_pp\\_83\\_92\\_Naranjo-et-al.pdf](http://amz.museocienciasjournals.cat/files/AMZ_vol_12_2014_pp_83_92_Naranjo-et-al.pdf)
- Ochoa-Ochoa LM, Flores-Villela O, Gracia-Vázquez U, Correa-Cano M, Canseco-Márquez L. 2006. Áreas potenciales de distribución de la herpetofauna de México. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/ecno\\_miotgw.xml?httpcache=yes&\\_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc\\_html.xsl&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/ecno_miotgw.xml?httpcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no)
- Parra-Olea G, Flores-Villela O, Mendoza-Almeralla C. 2014. Biodiversidad de anfibios en México. *Rev Mex Biodivers.* 85 (supl.): S460-S66. Disponible en: [http://www.ib.unam.mx/m/revista/pdfs/54.-\\_1183.pdf](http://www.ib.unam.mx/m/revista/pdfs/54.-_1183.pdf)
- Pearson RG, Raxworthy CJ, Nakamura M, Peterson AT. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *J Biogeogr.* 34: 102-17. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x>
- Peterson AT, Papeş M, Soberón J. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecol Model.* 213 (1): 63-72. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.11.008>
- Peterson AT, Soberón J, Sánchez-Cordero VV. 1999. Conservation of ecological niches in evolutionary time. *Science.* 285 (5431): 1265-67. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10455053>
- Peterson AT. 2001. Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. *Condor.* 103 (3): 599-605. Disponible en: <https://bit.ly/2SG57Fw>
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol Model.* 190(3-4): 231-59. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
- Phillips SJ, Dudik M, Schapire RE. 2004. *A maximum entropy approach to species distribution modeling*. Canada: Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning, Banff; pp. 655-62. Disponible en: [https://www.cs.princeton.edu/~schapire/papers/maxent\\_icml.pdf](https://www.cs.princeton.edu/~schapire/papers/maxent_icml.pdf)
- Phillips SJ, Miroslav D. 2008. Modeling of species distribu-

- tions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*. 31 (2): 161-75. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Santos-Barrera G, Canseco-Márquez L, Flores-Villela O. 2004. *Ecnomiohyla miotympanum*. The IUCN Red List of Threatened Species 2004: e.T55566A11332756. Disponible en: <https://www.iucnredlist.org/species/55566/11332756>
- Soberón J, Peterson AT. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodivers Informatics*. 2: 1-10. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.584.8988&rep=rep1&type=pdf>
- Sokal RR, Rohlf FJ. 1995. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. New York: State University of New York at Stony Brook; 887 pp.
- Urbina-Cardona JN, Flores-Villela O. 2010. Ecological-niche modeling and prioritization of conservation-area networks for Mexican herpetofauna. *Conserv Biol*. 24 (4): 1031-41. doi: 10.1111/j.1523-1739.2009.01432.x
- Varela S, Mateo RG, García-Valdés R, Fernández-González F. 2014. Macroecología y ecoinformática: sesgos, errores y predicciones en el modelado de distribuciones. *Ecosistemas*. 23(1): 46-53. Disponible en: <https://www.revistae-cosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/831>
- Williams JN, Seo C, Thorne J, Nelson JK, Erwin S, O'Brien JM, Schwartz MW. 2009. Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. *Divers Distrib*. 15(4): 565-76. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2009.00567.x>
- Wisn MS, Hijmans RJ, Li J, Peterson AT, Graham CH, Guisan A. NCEAS Predicting Species Distributions Working Group. 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Divers Distrib*. 14(5): 763-73. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00482.x>
- Young BE, Stuart SN, Chanson JSC, Cox NA, Boucher TM. 2004. *Joyas que están desapareciendo: el estado de los anfibios en el Nuevo Mundo*. Virginia: NatureServe y Red List Consortium; 53 pp.