

**Informe final\* del Proyecto XB020**  
**Evaluación de la especie Tlaconete Morelense (*Pseudoeurycea altamontana*), en el estado de Morelos\***

**Responsable:** M en C. Gustavo Jiménez Velázquez  
**Institución:** Vida Silvestre Coatl AC.  
**Dirección** Sotuta Mz.85 Lt. 12, Pedregal de San Nicolás, de México, DF, 14100 , México  
**Correo electrónico** [vidasilvestrecoatl@gmail.com](mailto:vidasilvestrecoatl@gmail.com)  
**Teléfono o fax** 01(55)54-46-29-63  
**Fecha de inicio:** Mayo 4, 2018.  
**Fecha de término:** Abril 8, 2019.  
**Principales resultados** Informe final.

**Forma de citar\*\* el informe final y otros resultados:** Jiménez-Velázquez, G., V.M. Cristante-Castro, A. Ortega-Galván, O.M. León-Arce y A. Mancilla-Galván. 2018. Evaluación de la especie tlaconete morelense (*Pseudoeurycea altamontana*) en el estado de Morelos. CONABIO/Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Morelos. **Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. XB020.** Ciudad de México.

**Resumen:**

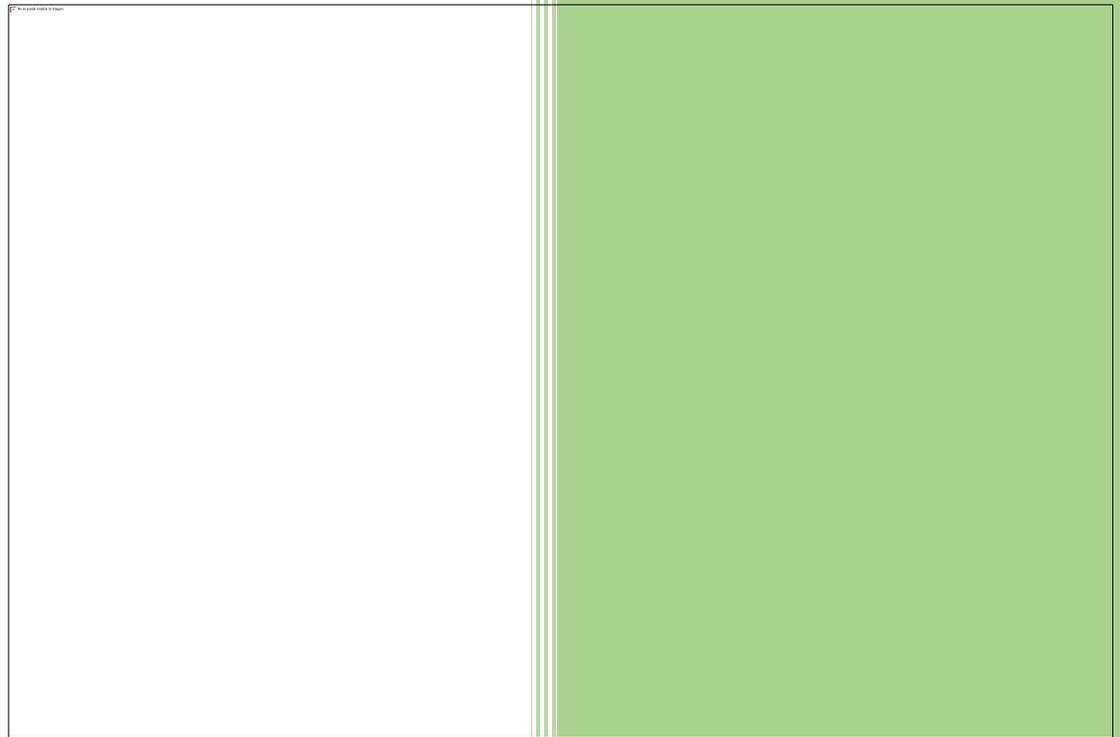
*Pseudoeurycea altamontana* es una salamandra micro-endémica de los bosques templados del estado de Morelos y del sur de la Ciudad de México. Desde su descripción en 1938, ha sido poco estudiada y los trabajos donde se ha involucrado a esta especie principalmente son sobre sistemática del género *Pseudoeurycea* y en listados estatales de la región. Según las evaluaciones de expertos, *P. altamontana* está sufriendo declinaciones poblacionales y su principal amenaza es la pérdida del hábitat. Dado que no existe suficiente información biológica para desarrollar estrategias de conservación de esta especie como son, mapas de distribución, ecología de poblaciones, caracterización de su hábitat, conocimientos de su biología reproductiva, etc., el proyecto busca generar información sobre estos aspectos para establecer estrategias para la conservación de esta especie.

- 
- \* El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)
  - \*\* El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.



## Informe Final de Actividades

# *Evaluación de la especie del tlaconete morelense Pseudoeurycea altamontana en el estado de Morelos.*



C. Dr. Gustavo Jiménez Velázquez  
Director General de Vida Silvestre Coatl A.C.

Diciembre 2018

Secretaría de Desarrollo Sustentable del  
Estado de Morelos.

Comisión Nacional Para el Conocimiento  
y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

## CONTENIDO

INTEGRANTES DEL EQUIPO DE TRABAJO .....	3
RESUMEN EJECUTIVO .....	3
1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. OBJETIVO GENERAL.....	4
2.1 OBJETIVOS PARTICULARES.....	4
3. AREA DE ESTUDIO .....	4
4. RESULTADOS .....	5
4.1 Ficha de <i>Pseudoeurycea altamontana</i> .....	5
Nombre científico: <i>Pseudoeurycea altamontana</i> (Taylor 1939).....	5
Nombres comunes en español: Tlaconete de Morelos, tlaconete morelense.....	5
Nombre común en inglés: Morelos false brook salamander.....	5
Etimología.....	5
Descripción .....	5
Reproducción .....	6
Alimentación .....	6
Hábitat y microhábitat .....	6
Distribución .....	6
5. Modelado de distribución de <i>Pseudoeurycea altamontana</i> .....	8
5.1 Datos de presencia de <i>Pseudoeurycea altamontana</i> .....	8
5.2 Datos ambientales .....	8
5.3 Identificación del Área Accesible o “M” .....	9
5.4 Algoritmos para modelar la distribución de <i>Pseudoeurycea altamontana</i> y modelo consenso..	9
5.5 Procesamiento post modelado .....	10
5.6 Modelo de distribución de distribución de <i>Pseudoeurycea altamontana</i> .....	10
5.7 Mapa de favorabilidad ambiental de <i>Pseudoeurycea altamontana</i> .....	11
5.8 Modelo de distribución de <i>Pseudoeurycea altamontana</i> .....	12
5.9 Mapa de Áreas Críticas para la Conservación de <i>Pseudoeurycea altamontana</i> .....	13
5.10 Mapa de Representatividad de <i>Pseudoeurycea altamontana</i> en Áreas Naturales Protegidas	14
6. Abundancia y densidad de <i>Pseudoeurycea altamontana</i> .....	15
7. Morfometría de <i>Pseudoeurycea altamontana</i> .....	16
8. Microhábitat de <i>Pseudoeurycea altamontana</i> .....	16

9. Conclusiones y recomendaciones para la conservación de <i>Pseudoeurycea altamontana</i> con énfasis en el estado de Morelos. ....	17
10. LITERATURA.....	18

## INTEGRANTES DEL EQUIPO DE TRABAJO.

C. Dr. Gustavo Jiménez Velázquez (responsable del proyecto)

P. de Biol. Victor Manuel Crisanto Castro

P. de Biol. Adrián Ortega Galván

P. de Biol. Octavio Mauricio León Arce

P. de Geog. Armando Mancilla Galván

## RESUMEN EJECUTIVO

*Pseudoeurycea altamontana* es una salamandra micro-endémica de los bosques templados del estado de Morelos, Estado de México y Ciudad de México. Desde su descripción en 1939, ha sido poco estudiada y los trabajos donde se ha involucrado a esta especie principalmente son sobre sistemática del género *Pseudoeurycea* y en listados herpetofaunísticos. Según las evaluaciones de expertos, *P. altamontana* está sufriendo declinaciones poblacionales y su principal amenaza es la pérdida del hábitat. Dado que no existe suficiente información biológica de esta especie como son; mapas de distribución, ecología de poblaciones, caracterización de su hábitat, conocimiento de su biología reproductiva, etc., este proyecto busca generar información elemental para establecer estrategias para su conservación.

Palabras clave: Salamandra, Eje Neovolcánico, micro-endémica, modelo de distribución de especies, conservación.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente está ocurriendo una grave crisis de la biodiversidad, fenómeno que ha sido comparado con los cinco eventos de mega-extinciones que ocurrieron en la historia de la vida. Aunque las extinciones son fenómenos naturales, la crisis actual se debe principalmente a las actividades humanas, además de que las tasas de extinción actuales son más rápidas de lo que han sucedido en el pasado (Dirzo et al. 2014).

La pérdida de la biodiversidad es un problema muy grave porque no existen mecanismos ecológicos y evolutivos que sustituyan las funciones que las especies desempeñan en los sistemas naturales con las tasas de extinción actual lo que podría provocar crisis sin precedentes en el planeta (Dirzo et al. 2014).

Ante este escenario, al menos desde la década de los setenta se ha planteado la necesidad de conservar a las especies y los ecosistemas y algunos de las estrategias más importantes para esta tarea son el establecimiento y manejo de Áreas Naturales Protegidas (ANP), los Programas de Conservación de Especies en Riesgo y en general los programas que de manera sustentable manejen y conserven la biodiversidad.

Sin embargo, para desarrollar estrategias de conservación eficientes, es necesario contar con información biológica básica sobre aspectos biogeográficos, como son la riqueza y el endemismo,

ecológicos, como los patrones de diversidad alfa, beta y gama. Las tendencias poblacionales, sus principales amenazas y las áreas y acciones críticas para la conservación.

Desafortunadamente muchas especies no cuentan con la información mínima necesaria para poder establecer estrategias a corto, mediano y largo plazo que permita la subsistencia de las poblaciones, y este es el caso de muchas salamandras de la familia Pletodontidae en México.

En México la familia Pletodontidae está representada por 13 géneros, 116 especies de las cuales 96 son endémicas al país, lo que equivale al 82.7% (Amphibia Web 2018). El género *Pseudoeurycea* está representado por 39 especies de las cuales 27 están en alguna categoría de riesgo según la NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo (NOM-059-SEMARNAT-2010), 15 bajo la categoría de Amenazada (A) y 12 sujetas a Protección Especial (Pr) (SEMARNAT 2010).

*Pseudoeurycea altamontana* es micro-endémica a los bosques templados del norte del estado de Morelos, el sur de la Ciudad de México y algunos municipios contiguos del Estado de México. Su principal amenaza es la pérdida del hábitat (IUCN SSC Amphibian Specialist Group 2016). Dado que no se conoce el estado actual de sus poblaciones es imperante realizar un diagnóstico que permita evaluar el estado de conservación de esta especie, y generar información biológica que nos ayude a identificar áreas geográficas y proponer estrategias para su conservación.

## 2. OBJETIVO GENERAL

Obtener información actual sobre el estado de conservación de *Pseudoeurycea altamontana*.

### 2.1 OBJETIVOS PARTICULARES

1. Elaborar mapas de puntos, de idoneidad ambiental y distribución potencial de *Pseudoeurycea altamontana*.
2. Recopilar la información biológica disponible sobre biología, historia natural, ecología, reproducción de *Pseudoeurycea altamontana*.
3. Identificar los principales factores que amenazan las poblaciones de la especie.
4. Identificar las áreas y acciones críticas para la conservación de la especie con énfasis en el estado de Morelos.

## 3. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la porción perteneciente al estado de Morelos del Parque Nacional Lagunas de Zempoala y el Corredor Biológico Chichinautzin (1ra sección), así como las inmediaciones de ambas Áreas Naturales Protegidas.

Pertenece a la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico, subprovincia Lagos y Volcanes del Anáhuac y los únicos sistemas de topofomas son las Sierras, la altitud de los sitios de estudio van desde los 2300 msnm

hasta los 3283 metros sobre el nivel del mar, mientras que los suelos predominantes son el andosol y el leptosol (INEGI 2018).

Los climas del área de estudio según la clasificación de Köpen modificado por García (García, 1988) son el Templado, semifrío, con verano fresco largo, Cb'(w2), temperatura media anual entre 5°C y 12°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, menos de cuatro meses con temperatura mayor a 10°C, subhúmedo, precipitación anual entre 200 y 1,800 mm y precipitación en el mes más seco de 0 a 40 mm; lluvias de verano del 5 al 10.2% anual. Templado, C(w2), temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C, subhúmedo, precipitación anual de 200 a 1,800 mm y precipitación en el mes más seco de 0 a 40 mm; lluvias de verano del 5 al 10.2% anual.

Los tipos de vegetación predominantes en estas zonas son el bosque de encino, bosque de pino, bosque mesófilo de montaña, pastizal subalpino y malpaís, así como vegetación secundaria de los tipos de vegetación antes mencionados (INEGI 2018).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Ficha de *Pseudoeurycea altamontana*.

Nombre científico: *Pseudoeurycea altamontana* (Taylor 1939).

Nombres comunes en español: Tlaconete de Morelos, tlaconete morelense.

Nombre común en inglés: Morelos false brook salamander.

#### Etimología

Dixon y Lemos -Espinal 2010. Mencionan que el nombre del género deriva de la palabra griega “pseudo” que significa falso y Eurycea por el género de salamandras que se distribuyen en Norteamérica.

Taylor (1939) no explica la etimología del epíteto específico de “altamontanus” sin embargo, se puede suponer que hace referencia a que habita en altas montañas.

#### Descripción

*Pseudoeurycea altamontana* es una salamandra pequeña, se ha reportado que la longitud hocico-cloaca (LHC) media de  $42.3 \pm 7$  mm (32 - 54 mm) y cloaca-cola de  $33.5 \pm 9$  mm (21 - 47 mm). No se han observado diferencias en las tallas de hembras y machos. Alrededor del cuello presentan un surco más marcado en la parte ventral, que da origen a una bolsa gular transversal, el cuello es tan ancho como la cabeza. Presentan 11-12 surcos intercostales y extremidades grandes que al plegarlas al cuerpo se alcanzan las puntas de los dedos o quedan a 2 surcos intercostales. Las falanges de los dígitos medios de los pies no están incluidas en una membrana interdigital, y si se presenta, sólo alcanza a cubrir la mitad de la falange proximal. Son de color purpura y violeta con manchas dorsales y laterales de color crema.

El vientre del cuerpo es más claro que el resto del cuerpo (Ramírez-Bautista *et al.* 2009, Uribe-Peña *et al.* 1999).

## Reproducción

Se desconocen muchos aspectos de la reproducción de *Pseudoeurycea altamontana*. La fertilización es interna, las cópulas ocurren en otoño y las crías nacen en primavera-verano (Ramírez-Bautista *et al.* 2010; Uribe-Peña *et al.* 2010).

## Alimentación

Uribe-Peña *et al.* (1999) menciona que *Pseudoeurycea altamontana* se alimenta de artrópodos como son: coleópteros, dípteros y artrópodos.

## Hábitat y microhábitat

Habita en bosques templados como son: bosques de pino, bosques de oyamel y bosques mesófilos. Taylor (1939) menciona que se encuentran bajo troncos en el suelo y bajo rocas rodeadas de hojarasca muy húmeda (Uribe-Peña *et al.* 1999).

## Distribución

*Pseudoeurycea altamontana* se distribuye en bosques templados en el sur de la Ciudad de México, Morelos y el Estado de México. La mayor cantidad de registros conocidos provienen del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, en los municipios de Huitzilac (Morelos) y Ocuilan (Estado de México). En el estado de Morelos también existen registros en la localidad conocida como Tres Cumbres y al oeste de la cabecera municipal de Huitzilac. En la Ciudad de México se conocen unos pocos ejemplares en la delegación Magdalena Contreras y en el Parque Nacional Desierto de los Leones.

En el Estado de México existe un registro reciente (2004) de *P. altamontana* en el municipio de Huixquilucan que parece ser el registro más norteño de la distribución conocida y también existen registros en el municipio de Temascaltepec (Estado de México) que corresponden a los registros más occidentales de la distribución de esta especie. La localidad más oriental conocida de *P. altamontana* la aporta Taylor (1945), donde menciona que colectó a un ejemplar en Paso de Cortés, en el Municipio de Amecameca, en el Estado de México, sin embargo, desde esa fecha no se ha vuelto a registrar esa especie dicho sitio. Vega-López y Álvarez (1992) realizaron un estudio sobre la biodiversidad de anfibios y reptiles en el Parque Nacional Izta-Popo y mencionan no haber registrado a *Pseudoeurycea altamontana*. En el siguiente cuadro se resumen las localidades conocidas para *Pseudoeurycea altamontana*.

Cuadro 1. Localidades conocidas de *Pseudoeurycea altamontana*. \*Georreferencia corregida por Gustavo Jiménez Velázquez. <sup>1</sup>Datos excluidos en el proceso de modelado por asumir que son identificaciones herradas.

Estado	Localidad	Longitud	Latitud	Referencia
CDMX	Desierto de los Leones, 2.2 mi S by road of Convent, Cuajimalpa*	-99.311709	19.306524	Flores-Villela <i>et al.</i> 2016
CDMX	Ejido San Nicolás Totolapan, Magdalena Contreras	-99.3181099	19.25444	Flores-Villela <i>et al.</i> 2016
CDMX	Paraje Cruz Blanca, Cuajimalpa	-99.3216388	19.3034441	Flores-Villela <i>et al.</i> 2016
CDMX	Tercer Dínamo, Magdalena Contreras	-99.2777099	19.2806099	Flores-Villela <i>et al.</i> 2016
EDOMEX	Parque Nacional Lagunas de Zempoala, Laguna de Quila, Mpio. Ocuilan	-99.3122222	19.075	Aguilar-Miguel y Casas-Andreu 2002
EDOMEX	Mt Popocatepetl, at low forest edge (tree level)	-98.5799999	19.0299999	Flores-Villela <i>et al.</i> 2016
EDOMEX	Piedra Grande, Huixquilucan <sup>1</sup>	-99.3879299	19.35156	Flores-Villela <i>et al.</i> 2016
EDOMEX	Mexico, Mexico State, Lagunas de Zempoala	-99.3101064	19.05	McCain 2017
EDOMEX	Mexico: Mexico: 18 mi. SW. Toluca, 0.9 mi. SW of Km. 25, along Hwy. 130 18 mi SW Toluca, 0.9 mi SW of km 25, along Hwy 130 <sup>1</sup>	-99.8501196	19.17	Scheinberg y Fong 2017
EDOMEX	Lago de Zempoala Park, 0.4 mi N by Winding Rd. from Park Entrance at N end of Lago Zempoala Lago de Zempoala Park, 0.4 mi N by winding road from park entrance at N end of Lago Zempoala	-99.3308333	19.0705555	Spencer 2017
MOR	8.8 km al E de Santa Martha, en el camino a Lagunas de Zempoala; 16 km al W Huitzilac (Morelos)	-99.3225	19.0638889	Aguilar-Miguel y Casas-Andreu 2002
MOR	2 mi W Huitzilac	-99.2359376	19.0205556	Brown 2017
MOR	Lagunas de Zempoala	-99.307074	19.065263	Brown 2017
MOR	Mexico   Morelos   -   5 kls. No. Tres Marias	-99.2201042	19.03	Feeney 2016
MOR	HUITZILAC, 1 MI W	-99.2916667	19.0416667	Flores-Villela 1998
MOR	HUITZILAC, 3 MI W	-99.3083333	19.0416667	Flores-Villela 1998
MOR	TRES CUMBRES, 1.5 MI NE	-99.21502	19.06768	Flores-Villela, 1998
MOR	Parque Nacional Lagunas de Zempoala	-99.3166666	19.05	Flores-Villela <i>et al.</i> 2016
MOR	Lagunas de Zempoala	-99.30333	19.05167	Flores-Villela <i>et al.</i> 2016
MOR	Mexico, Morelos, 1 mi. W. Huitzilac 1 mi. west Huitzilac	-99.2834387	19.0333333	Flores-Villela <i>et al.</i> 2016
MOR	Mexico, Morelos, 1.5 mi. NE Tres Cumbres	-99.2401048	19.07	Flores-Villela <i>et al.</i> 2016

MOR	5.6 Rd. km W Huitzilac 5.6 km W (by road) Huitzilac	-99.3025	19.0408333	Spencer 2017
-----	---	----------	------------	--------------

## 5. Modelado de distribución de *Pseudoeurycea altamontana*

Los modelos de distribución de especies, en inglés Species distribution model (SDM), son representaciones del área de la distribución geográfica de las especies. De acuerdo con Morrone (2012) los modelos relacionan las observaciones de campo de los taxones con variables ambientales predictivas, basadas en una respuesta estadística o teórica (Morrone, 2012). Por lo anterior en el proceso de modelado de distribución de especies se deben de considerar tres pasos. Obtener datos de presencia, obtener datos ambientales y hacer los modelos a través de algún o algunos algoritmos.

### 5.1 Datos de presencia de *Pseudoeurycea altamontana*

Los datos de presencia para realizar el modelo de distribución de especies son los presentados en el cuadro 1. Los datos se descargaron en formato .json de la plataforma Enciclovida (CONABIO, 2018) y provienen del Sistema Nacional de Información de la Biodiversidad (SNIB) y de la Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Para el proceso de modelado se excluyeron a las localidades “Mexico: Mexico: 18 mi. SW. Toluca, 0.9 mi. SW of Km. 25, along Hwy. 130 18 mi SW Toluca, 0.9 mi SW of km 25, along Hwy 130” y “Mt Popocatepetl, at low forest edge (tree level)” porque probablemente sean errores de identificación.

### 5.2 Datos ambientales

Para realizar los modelos de distribución de *Pseudoeurycea altamontana* se emplearon las 19 capas bioclimáticas de WORLDCLIM 2 (cuadro 2), las capas bioclimáticas tienen una resolución aproximada de 1km<sup>2</sup> y son elaboradas a partir interpolaciones de datos obtenidos de estaciones climatológicas entre los años 1970 y 2000 (Fick y Hijmans 2017).

Cuadro 2. Nombre y significado de las variables bioclimáticas de Fick y Hijmans (2017).

Nombre	Significado
BIO 1	Temperatura media anual
BIO 2	Intervalo de temperatura diurno
BIO 3	Isotermalidad
BIO 4	Estacionalidad de la temperatura
BIO 5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO 6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO 7	Intervalo de temperatura anual
BIO 8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO 9	Temperatura media del trimestre más seco
BIO 10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO 11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO 12	Precipitación anual
BIO 13	Precipitación del mes más húmedo
BIO 14	Precipitación del mes más seco
BIO 15	Estacionalidad de la precipitación

BIO 16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO 17	Precipitación del trimestre más seco
BIO 18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO 19	Precipitación del trimestre más frío

### 5.3 Identificación del Área Accesible o “M”

Se definió un Área Accesible o “M” para modelar la distribución de *Pseudoeurycea altamontana*. Definir la M es un procedimiento esencial en el proceso del modelado de la distribución de las especies, particularmente para entrenar los modelos, realizar validaciones y comparaciones entre ellos (Barve *et al.* 2011). Por otro lado, definir la M con base en criterios biológicos, biogeográficos y ecológicos como es de gran ayuda en el ámbito de la biología de la conservación ya que permite reducir la sobreestimación de la distribución modelada (Peterson *et al.* 2011)

Para definir dicha M se utilizó la regionalización de Provincias Fisiográficas de México de Cervantes-Zamora *et al.* (1990) digitalizada y publicada por la CONABIO en 2008. En particular la M para modelar a *Pseudoeurycea altamontana* es la Provincia Fisiográfica “Lagos y Volcanes del Anahuac” debido a que engloba los principales sistemas montañosos y valles contiguos a las localidades de distribución conocida de la especie y es relativamente pequeña (aproximadamente 40 323 km<sup>2</sup>) lo cual es congruente para realizar el modelado de la distribución de una especie micro-endémica.

### 5.4 Algoritmos para modelar la distribución de *Pseudoeurycea altamontana* y modelo consenso

Para modelar la distribución de *Pseudoeurycea altamontana* se elaboraron modelos con distintos algoritmos y se realizó un modelo consenso. Se ha recomendado realizar distintos modelos ya que se desconoce que algoritmo tiene un el mejor desempeño para cada caso en particular *a priori* (Qiao *et al.* 2015). Por otro lado, construir modelos consenso permite optimizar las predicciones incorporando la información de los distintos algoritmos y elaborar un modelo final estadísticamente robusto (Araújo y New 2007).

El procedimiento de modelado se realizó a través del paquete SSDM (Schmitt *et al.* 2017) implementado en el software R 3.5.0 (R Core Team 2018). Los algoritmos utilizados fueron los siguientes: Generalized Linear Model (GLM), Generalized Additive Model (GAM), Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS), Generalized Boosted Regressions Model (GBM), Classification Tree Analysis (CTA), Random Forest (RF), Maximum Entropy (MAXENT), y Support Vector Machines (SVM).

Se utilizó la parametrización de modelado que está recomendada por Schmitt *et al.* (2017) para elegir el número de datos de entorno (Background) para entrenar y validar los modelos, debido a que el paquete está diseñado para elegir distintas configuraciones en función del tipo de algoritmo y la cantidad de registros con el objetivo optimizar las predicciones con base en sus indicadores estadísticos. El umbral utilizado para realizar el mapa binario fue el “*Minimum training presence*”. Se realizaron 10 réplicas para cada algoritmo.

Los indicadores estadísticos que se presentan son los más comúnmente utilizados en el campo del modelado de la distribución de especies, el Área Bajo la Curva (AUC), el coeficiente kappa de Cohen, el rango de omisión, la sensibilidad (verdaderos positivos), especificidad (verdaderos negativos) y el rango de clasificaciones correctos.

### 5.5 Procesamiento post modelado

Con base en la información biogeográfica y ecológica disponible, se recortó el mapa binario del modelo consenso excluyendo las áreas donde ambientalmente se puede distribuir *Pseudoeurycea altamontana* pero donde no se ha documentado su presencia. Este tipo de procedimientos es común al elaborar modelos de distribución geográfica de las especies, principalmente cuando los modelos son utilizados para fines de conservación (Brown *et al.* 2014). Para realizar el procesamiento post modelado se utilizó el software QGIS 3.4.4.

### 5.6 Modelo de distribución de distribución de *Pseudoeurycea altamontana*

Como se mencionó en la metodología se elaboraron modelos a través de nueve diferentes algoritmos con diez réplicas de cada uno y un modelo consenso. Los resultados estadísticos de los diferentes modelos se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Indicadores estadísticos y valor de umbral a mapa binario de los distintos algoritmos utilizados para modelar la distribución de *Pseudoeurycea altamontana*.

Algoritmo	threshold	AUC	Omission rate	sensitivity	specificity	prop.correct
GAM	0.11	0.89	0.12	0.88	0.89	0.89
GLM	0.10	0.90	0.10	0.90	0.91	0.90
MARS	0.05	0.87	0.15	0.85	0.89	0.89
MAXENT	0.14	0.93	0.07	0.93	0.92	0.92
CTA	0.50	0.88	0.11	0.89	0.87	0.88
GBM	0.47	0.95	0.07	0.93	0.97	0.95
RF	0.62	0.92	0.09	0.91	0.93	0.92
SVM	0.58	0.92	0.08	0.92	0.92	0.92
Consenso	0.47	0.91	0.10	0.90	0.91	0.91

### 5.7 Mapa de favorabilidad ambiental de *Pseudoeurycea altamontana*.

El modelo de favorabilidad ambiental o modelo de probabilidad de presencia (*sensu* Schmitt *et al.* 2017) representa las condiciones ambientales donde *Pseudoeurycea altamontana* se puede distribuir. Estos modelos tienen valores que van del cero al uno, donde uno representa las condiciones ideales para las poblaciones y cero las condiciones contrarias.

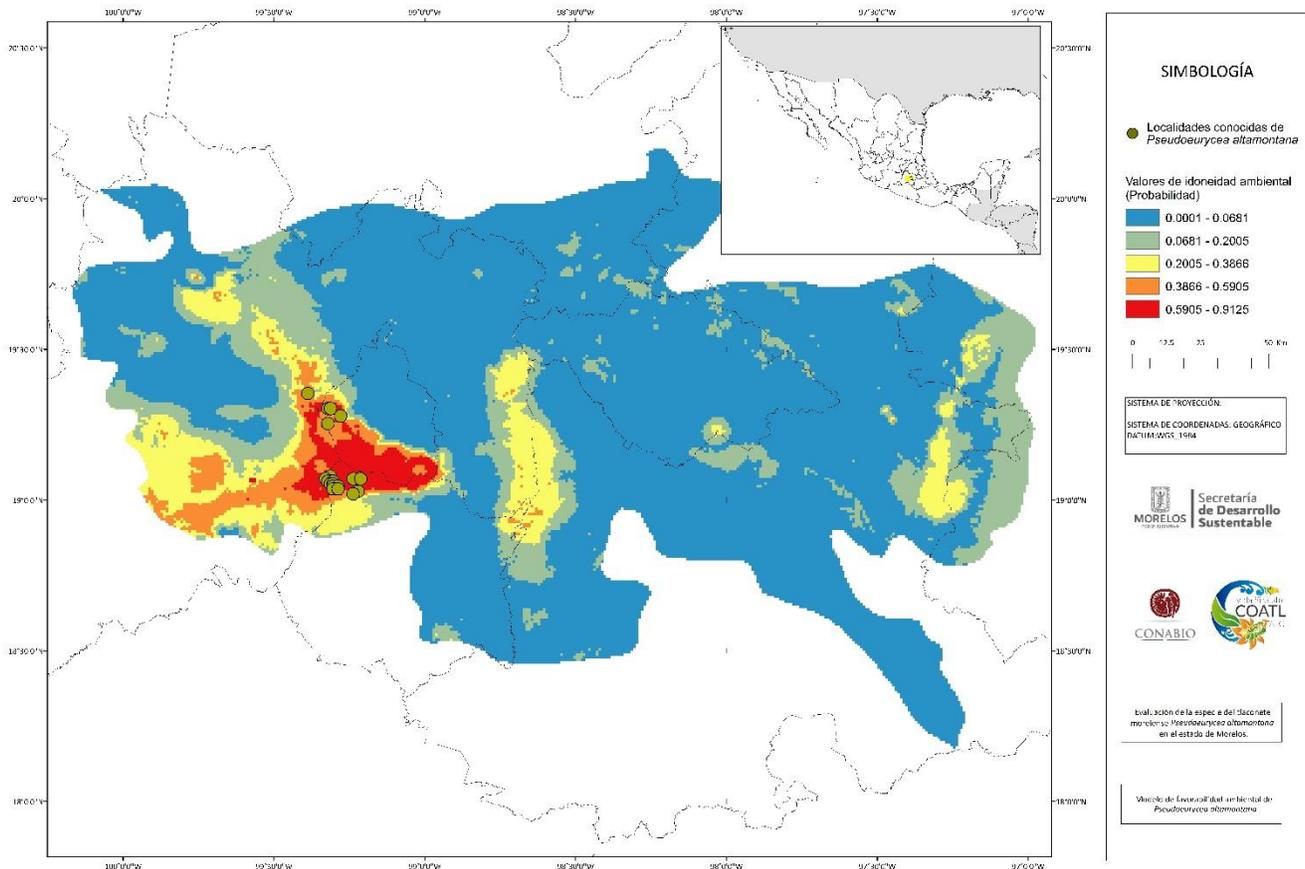


Figura 1. Mapa de favorabilidad ambiental de *Pseudoeurycea altamontana*.

### 5.8 Modelo de distribución de *Pseudoeurycea altamontana*

El modelo de distribución, en inglés “*species distribution model*” o también llamado por algunos autores, modelo de distribución potencial. Es la representación del mapa de favorabilidad ambiental reclasificando los valores a cero y uno, donde uno representa el área donde se predice la presencia de la especie y cero donde se asume que la especie está ausente. En la siguiente figura se muestra modelo de distribución de *Pseudoeurycea altamontana*.

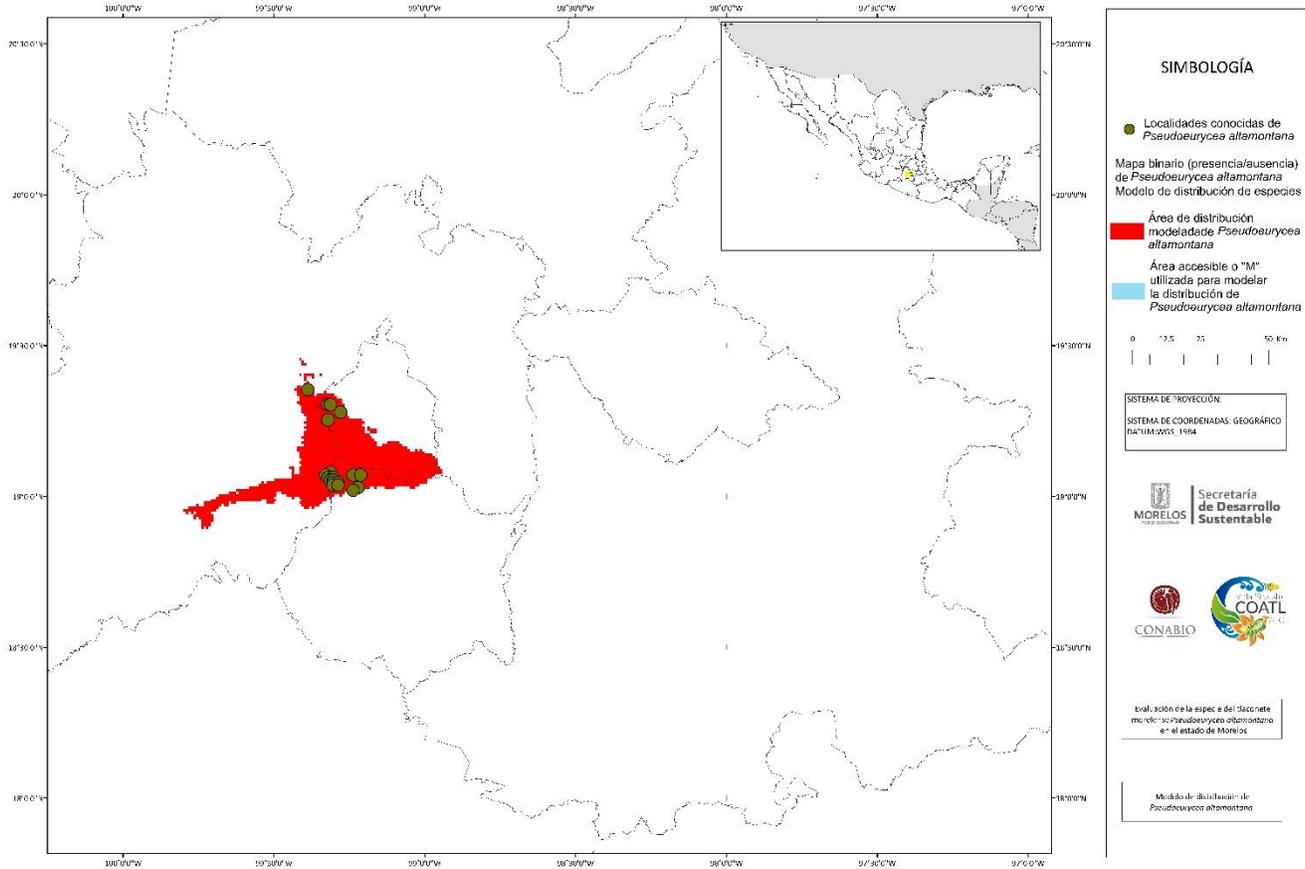


Figura 2. Modelo de distribución de *Pseudoeurycea altamontana*.

### 5.9 Mapa de Áreas Críticas para la Conservación de *Pseudoeurycea altamontana*

En el siguiente mapa se muestra el modelo de distribución de especies reclasificado utilizando la capa de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI serie VI. Se considera hábitat óptimo los tipos de vegetación clasificados como bosques primarios y secundarios, mientras que las zonas agrícolas, pastizales inducidos, zonas urbanizadas y cuerpos de agua se consideran hábitat no óptimo para *Pseudoeurycea altamontana*.

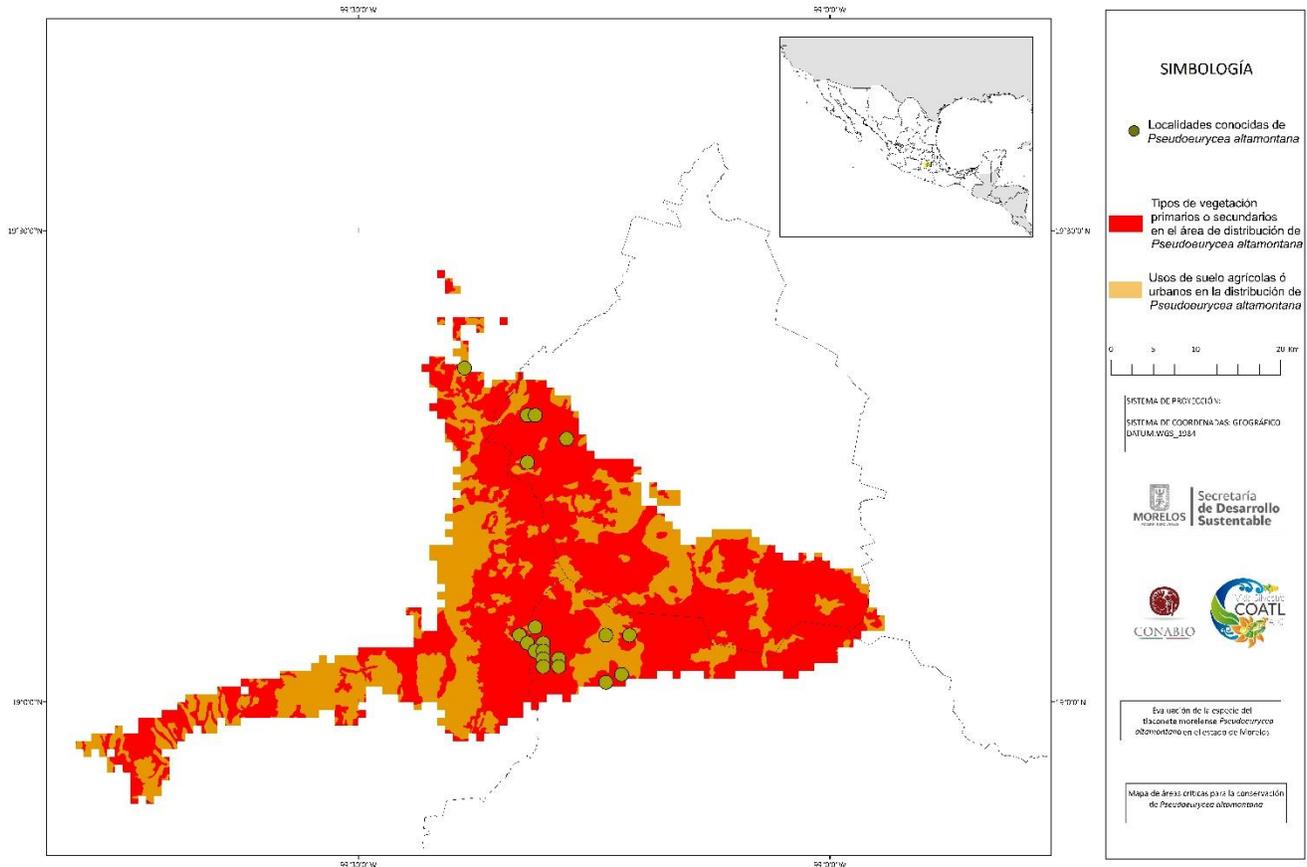


Figura 3. Mapa de áreas críticas para la conservación de *Pseudoeurycea altamontana*.

### 5.10 Mapa de Representatividad de *Pseudeurycea altamontana* en Áreas Naturales Protegidas

En el siguiente mapa se puede observar que en el Estado de Morelos y sur de la Ciudad de México *Pseudeurycea altamontana* está representada en prácticamente todo el todo el Parque Nacional Lagunas de Zempoala, la porción norte del Corredor Biológico Chichinautzin y la porción norte del Parque Nacional El Tepozteco. En la Ciudad de México y el Estado de México *Pseudeurycea altamontana* está representada el modelo de distribución en El Parque Nacional Cumbres del Ajusco, PN Miguel Hidalgo y Costilla y en PN Desierto de los Leones.

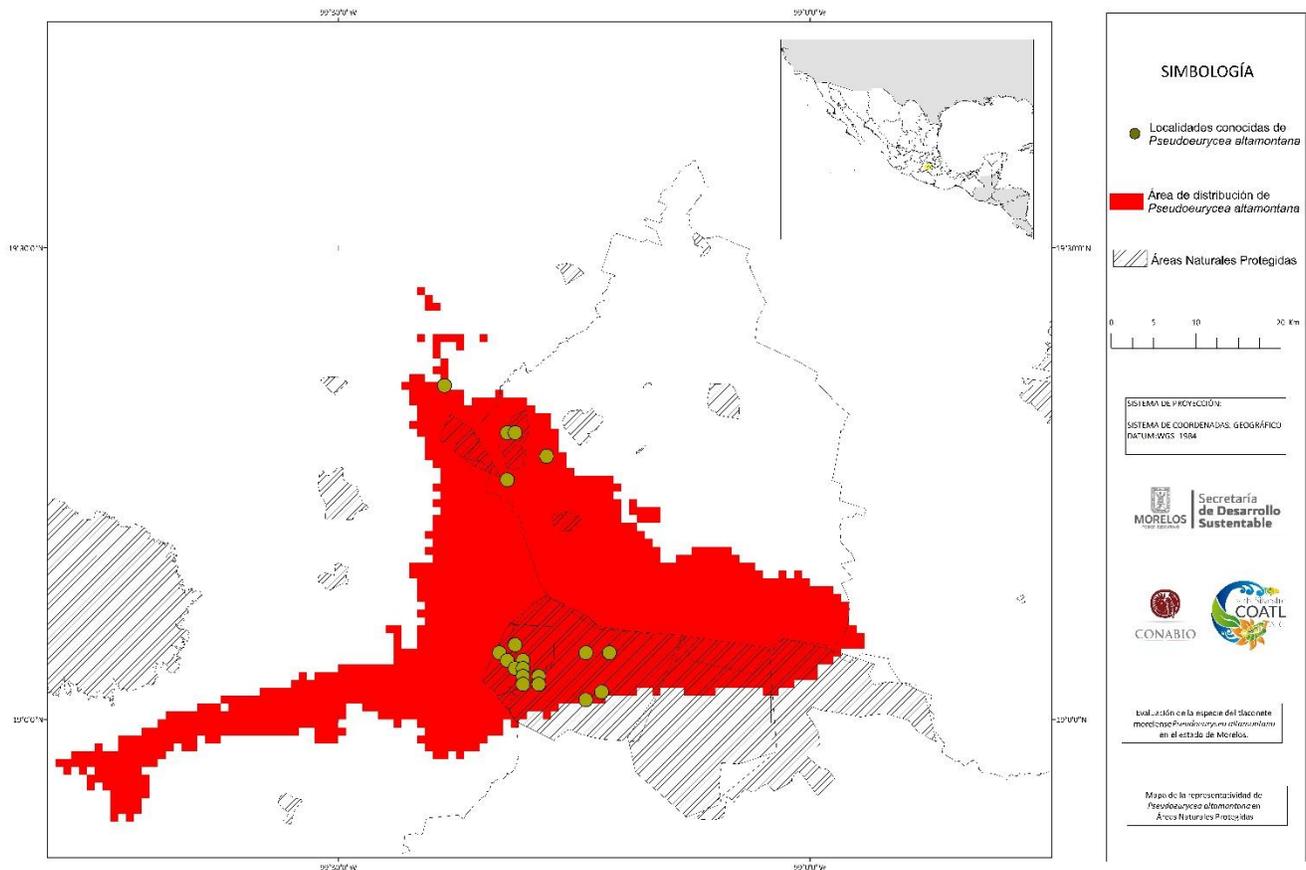


Figura 4. Mapa de representatividad de *Pseudeurycea altamontana* en Áreas Naturales Protegidas.

## 6. Abundancia y densidad de *Pseudoeurycea altamontana*

Se realizaron muestreos de campo desde el día 19 de julio de 2018 hasta el 19 de noviembre de 2018. En cada salida al menos dos personas realizaron la búsqueda activa en 151 parcelas de 31.6mX31.6m lo que equivale a un área de 151,000.00 m<sup>2</sup>.

Las parcelas pertenecen a 9 sitios diferentes en los bosques templados del noroeste del estado de Morelos, sin embargo, solo en 7 se detectaron salamandras de la especie *Pseudoeurycea altamontana*, siendo los sitios con Bosque Mesófilo de Montaña los lugares con mayores abundancias y densidades.

A continuación, mostramos dos cuadros, donde se puede observar los datos de incidencia de *Pseudoeurycea altamontana*, el número de parcelas estudiadas por sitio (cuadro 4) y por tipo de vegetación (cuadro 5), el número de parcelas donde se registró a esta especie su abundancia y su densidad.

Cuadro 4. Incidencia de *Pseudoeurycea altamontana* por sitio muestreado.

SITIO	INCIDENCIA (Presencia / Ausencia)	No. PARCELAS	PARCELAS C/P. <i>altamontana</i>	Abundancia (Individuos observados)	Densidad (Individuos /m <sup>2</sup> )
BACHILLERATO	1	5	4	7	0.00175
CHICHINAUTZIN	0	19	0	0	-
Km 6	1	13	6	12	0.002
Km 7	1	9	6	7	0.001166667
PALOMAS	1	42	6	7	0.001166667
QUILA	0	1	0	0	-
RESTAURANTE	1	26	2	2	0.001
TRUCHAS	1	20	1	1	0.001
TUXTEPEC	0	16	0	0	-
		151	25	36	0.00144

Cuadro 5. Incidencia de *Pseudoeurycea altamontana* por tipo de vegetación.

TIPO DE VEGETACIÓN	INCIDENCIA (Presencia / Ausencia)	No. PARCELAS	PARCELAS C/P. <i>altamontana</i>	Abundancia (Individuos observados)	Densidad (Individuos /m <sup>2</sup> )
Bosque Mesófilo	1	42	6	7	0.001166667
Bosque de Pino	1	3	1	1	0.0001
Bosque de Pino Secundario	1	10	1	3	0.003
Malpaís	0	19	0	0	-
Bosque Mesófilo Secundario	1	26	15	23	0.001533333
Pastizal Natural	1	26	2	2	0.001
Pastizal inducido	0	25	0	0	-
		151	25	36	0.001333333

## 7. Morfometría de *Pseudoeurycea altamontana*

Las medidas morfométricas de las salamandras observadas se muestran a continuación, se decidió agrupar a los organismos en tres clases de edades, crías, juveniles y adultos. Las unidades de medida son milímetros (mm).

Cuadro 6. Medidas morfometría de *Pseudoeurycea altamontana*.

	CRÍA (1 individuo)	JUVENILES (4 individuos)		ADULTOS (22 individuos)	
		Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar
Longitud Hocico-Cloaca	15.74	22.95	2.81	43.56	8.29
Longitud Cloaca-Cola	9.32	16.81	3.96	32.46	9.61
Ancho de la Cabeza	4.25	5.21	0.59	8.25	1.51
Alto de la cabeza	2.54	2.76	0.34	4.14	1.12
Largo de la cabeza	5.13	5.72	1.52	11.03	2.06
Extremidad anterior	2.46	6.17	1.07	10.48	2.54
Extremidad posterior	2.49	6.29	0.78	11.44	2.75

## 8. Microhábitat de *Pseudoeurycea altamontana*

Se registraron cuatro tipos diferentes de microhábitat que utiliza *Pseudoeurycea altamontana*, bajo las rocas es el microhábitat donde se observaron más ejemplares, seguido de bajo troncos y hojarasca, solamente se observó a un ejemplar entre pastos. También se registró la temperatura ambiental, la humedad relativa y el promedio de la velocidad del viento en los sitios donde se registró a esta especie. El promedio de la temperatura registrada en los sitios donde se registraron los ejemplares de *Pseudoeurycea altamontana* fue de 18.79°C con una desviación estándar de 2.82°C. El promedio de humedad relativa fue de 76.2% con una desviación estándar de 11.26 %, mientras que el promedio de la velocidad del viento fue de 1.55 km/h con una desviación estándar de 0.7 km/h.

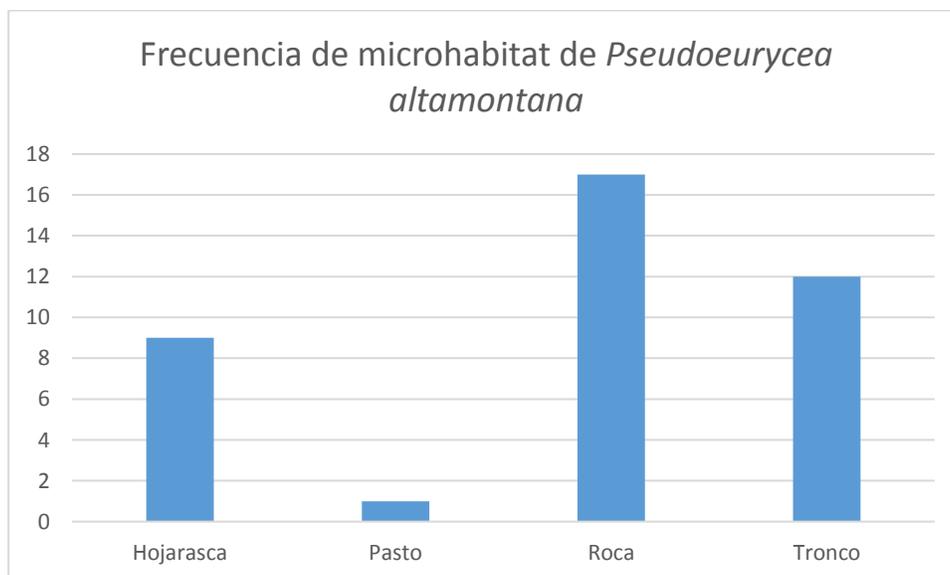


Figura 5. Gráfica de barras de la frecuencia de microhábitats utilizados por *Pseudoeurycea altamontana*.

## 9. Conclusiones y recomendaciones para la conservación de *Pseudoeurycea altamontana* con énfasis en el estado de Morelos.

En este trabajo se observó que *Pseudoeurycea altamontana* es una especie micro-endémica a los bosques templados del norte de Morelos y sur de la Ciudad de México, se deben realizar investigaciones que confirmen la presencia de esta especie en Paso de Cortes, Huixquilucan y Temascaltepec los cuales representan los registros más orientales, occidentales y norteños respectivamente. También es importante corroborar los registros y estudiar las poblaciones que pertenecen a la Magdalena Contreras y al Desierto de los Leones en la Ciudad de México.

En este trabajo se confirmó la presencia de *Pseudoeurycea altamontana* en localidades históricas como es Huitzilac y zonas al sur de las lagunas de Zempoala, sin embargo, se identificó una población en el volcán Chichinautzin en la localidad aquí descrita como “PALOMAS”, que pertenece al límite entre el estado de Morelos y la Ciudad de México.

Con base en el cálculo de extensión del modelo de distribución geográfica de esta especie y el cálculo de la superficie de bosques primarios, secundarios y hábitat no óptimo, así como las abundancias y densidades que se observaron en este estudio sugerimos elevar la categoría de riesgo de *Pseudoeurycea altamontana* a En Peligro de Extinción (P) según la NOM-059-SEMARNAT-2010, ya que cumple con el criterio de distribución (área de distribución menor al 1% superficie del país), estimación de pérdida del hábitat alta y vulnerabilidad intrínseca al poseer abundancias bajas.

Las regiones de mayor importancia para la conservación de *Pseudoeurycea altamontana* en el estado de Morelos son los bosques Mesófilos y Bosques de Encino en Huitzilac a altitudes de entre 2000 a 2700 msnm, en las localidades que mencionamos aquí como “Km 6”, “Km 7” y “BACHILLERATO”, que son las zonas con mayor impacto por urbanización y cambio de uso de suelo de Huitzilac.

Por otro lado, también es recomendable realizar prospecciones de campo en los bosques mesófilos y bosques de encino de entre 2000 y 2700 msnm al norte del estado de Morelos, en los municipios de Huitzilac, Tepoztlán, Tlalnepantla, Totolapan y Tetela del Volcán, principalmente en este último municipio.

La principal amenaza de *Pseudoeurycea altamontana* es la pérdida del hábitat. Se observaron predios deforestados principalmente en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala, siendo el caso más grave los bosques de Oyamel y Pino que rodean a la Laguna de Quila. Otro caso grave de pérdida del hábitat es la urbanización no planificada en el borde de la zona conurbada de Huitzilac, por ejemplo, en la localidad aquí descrita como Bachillerato. Estos bosques mesófilos son el principal núcleo de vegetación donde ocurren las mayores abundancias y densidades de *P. altamontana*, sin embargo, son las más amenazadas por su cercanía con las zonas urbanas.

Para promover la conservación de *Pseudoeurycea altamontana* se recomienda implementar programas de manejo sustentable en los bosques de Huitzilac, Tepoztlán, Tlalnepantla, Totolapan y Tetela del Volcán e implementar programas de monitoreo y conservación en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala y el Corredor Biológico Chichinautzin. También es imperante realizar talleres y pláticas a todos

niveles educativos y sociales para informar sobre el valor de la biodiversidad en términos, ecológicos, económicos y culturales a las poblaciones de todo el norte de Morelos, especialmente de las especies endémicas y en algún estado de conservación.

## 10. LITERATURA

- Aguilar-Miguel, X. y G. Casas Andreu. 2002. Algunas especies de anfibios y reptiles contenidos en el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-059-ECOL-2000. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias. Bases de datos SNIB-CONABIO proyectos No. W035, U012 y H103. México, D.F.
- Araújo, M. B., y M. New. 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution* 22(1): 42–47.
- Amphibia Web. 2018. En : <<https://amphibiaweb.org>> última consulta el 7 de julio de 2018.
- Brown, J. L. 2014. SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution*. 5(7):694-700
- Brown, R. 2017. KUBI Herpetology Collection. Version 31.2. University of Kansas Biodiversity Institute. En: <<https://doi.org/10.15468/ubdwdc> accessed via GBIF.org>, última consulta el 18 de julio de 2017.
- Barve, N., Barve, V., A. Jiménez-Valverde, *et al.* 2011. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling* 222(11): 1810–1819.
- Cervantes-Zamora, Y., S.L. Cornejo-Olgín, R. Lucero-Márquez, *et al.* 1990. Provincias Fisiográficas de México. En: <[www.conabio.gob.mx/informacion/gis/](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/)>, última consulta el 3 de julio de 2018.
- CONABIO 2018. Tlaconete morelense (*Pseudoeurycea altamontana*). En: <<http://www.encyclovida.mx/especies/8012854>>, última consulta el 3 de julio de 2018.
- Dirzo, R., H.S. Young, M. Galetti, *et al.* 2014. Defaunation in the Anthropocene. *Science* 345(6195): 401–406.
- Dixon J. R. y J. A. Lemos-Espinal. 2010. Anfibios y Reptiles del Estado de Querétaro, Mexico. Texas A&M University, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. 428 pp. México
- Feeney R. 2016. LACM Vertebrate Collection. Natural History Museum of Los Angeles County. Occurrence Dataset <https://doi.org/10.15468/77rmwd> accessed via GBIF.org on 2017-07-18.
- Fick, S. E., y R.J. Hijmans. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37(12): 4302–4315.
- Flores-Villela, O. 1998. Formación de una base de datos y elaboración de un atlas de la herpetofauna de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto No. A014. México, D.F.
- Flores-Villela. O.A, L.M Ochoa-Ochoa, A. Domínguez-Pérez, *et al.* 2016. Anfibiofauna endémica frente al cambio climático: análisis de sensibilidad e incertidumbre. UNAM. Facultad de Ciencias. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto No. JM022. Ciudad de México
- García, E. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1998). 'Climas' (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México.
- INEGI. 2018. Mapa Digital de México. Consultado en <http://gaia.inegi.org.mx/mdm-client/> el 20 de diciembre de 2018
- IUCN SSC Amphibian Specialist Group. 2016. *Pseudoeurycea altamontana*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T59366A53980767.

- McCain C. 2017. UCM Amphibian and Reptile Collection (Arctos). University of Colorado Museum of Natural History. Occurrence Dataset <https://doi.org/10.15468/1llmgl> accessed via GBIF.org on 2017-07-18.
- Peterson, A. T., J. Soberón, R.G. Pearson, *et al.* 2011. Ecological niches and geographic distributions. Princeton University Press. 314pp. USA.
- Qiao, H., J. Soberón y A.T. Peterson. (2015). No silver bullets in correlative ecological niche modelling: Insights from testing among many potential algorithms for niche estimation. *Methods in Ecology and Evolution* 6(10): 1126–1136.
- R Core Team 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. En: <https://www.R-project.org/>
- Ramírez-Bautista, A. *et al.* 2009. Herpetofauna del Valle de México: Diversidad y Conservación. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Mexico, 213 pp.
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.
- Scheinberg L., J. Fong. 2017. CAS Herpetology (HERP). Version 33.8. California Academy of Sciences. En: <https://doi.org/10.15468/bvoyqy> accessed via GBIF.org, última consulta el 18 de julio de 2018.
- Schmitt, S., R. Pouteau, D. Justeau, F. de Boissieu y P. Birnbaum. 2017. ssdm: An r package to predict distribution of species richness and composition based on stacked species distribution models. *Methods in Ecology and Evolution* 8(12): 1795–1803.
- Spencer, C. 2017. MVZ Herp Collection (Arctos). Version 36.3. Museum of Vertebrate Zoology. En: <https://doi.org/10.15468/pi1mts> accessed via GBIF.org, última consulta el 18 de julio de 2017.
- Taylor, E.H. 1939. Concerning Mexican Salamanders. *The University of Kansas Science Bulletin*. 25: 266–269.
- Uribe-Peña, Z., A. *et al.* 1999. Anfibios y Reptiles de las Serranías del Distrito Federal, México. Cuadernos 32, Instituto de Biología, UNAM, México D.F. 119 pp.