

Informe final* del Proyecto XB021
Evaluación de la especie de Cascabel Bandeada de Montaña (*Crotalus transversus*), 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 |
| 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: | Ciudad de México. Jiménez-Velázquez, G., V.M. Crístanto-Castro, A. Ortega-Galván, O.M. León-Arce y A. Mancilla-Galván. 2018. Evaluación de la especie de cascabel bandeada de montaña (<i>Crotalus transversus</i>) en el estado de Morelos. CONABIO/Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Morelos. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. XB021. Ciudad de México. |

Resumen:

La serpiente de cascabel *Crotalus transversus* es micro-endémica a las cadenas montañosas de la Sierra de las Cruces y al corredor Ajusco Chichinautizín en los estados de Morelos, Ciudad de México y Estado de México. Se encuentra en peligro de extinción principalmente por la pérdida de su hábitat y se desconoce prácticamente toda la información indispensable para establecer estrategias de conservación. Por lo anterior, el presente proyecto tiene como objetivo generar información sobre la presencia de la especie en el estado de Morelos, su distribución geográfica y ecológica, la caracterización de su hábitat y junto con una revisión exhaustiva de literatura científica identificar áreas y acciones críticas para su conservación.

-
- * 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
 - ** 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

*EVALUACIÓN DE LA ESPECIE DE CASCABEL
BANDEADA DE MONTAÑA *Crotalus transversus*
EN EL ESTADO DE MORELOS*



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

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 | 3 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 3 |
| 2. OBJETIVO GENERAL..... | 4 |
| 2.1 Objetivos particulares | 4 |
| 3. AREA DE ESTUDIO | 5 |
| 4. TRABAJO DE CAMPO | 5 |
| 5. RESULTADOS | 5 |
| 5.1 Ficha de <i>Crotalus transversus</i> | 6 |
| Nombre científico: | 6 |
| Nombres comunes en español: | 6 |
| Nombre común en inglés: | 6 |
| Etimología | 6 |
| Descripción | 6 |
| Reproducción..... | 6 |
| Alimentación..... | 7 |
| Hábitat y microhábitat..... | 7 |
| Distribución..... | 7 |
| 6. Modelado de la distribución de <i>Crotalus transversus</i> | 8 |
| 6.1 Datos de presencia de <i>Crotalus transversus</i> | 8 |
| 6.2 Datos ambientales | 8 |
| 6.3 Identificación del Área Accesible o “M” | 9 |
| 6.4 Algoritmos para modelar la distribución de <i>Crotalus transversus</i> y modelo consenso..... | 9 |
| 6.5 Procesamiento post modelado..... | 9 |
| 6.6 Modelo de distribución de distribución de <i>Crotalus transversus</i> | 10 |
| 6.7. Mapa de favorabilidad ambiental de <i>Crotalus transversus</i> | 11 |
| 6.8. Modelo de distribución de <i>Crotalus transversus</i> | 12 |
| 6.9. Mapa de Áreas Críticas para la Conservación de <i>Crotalus transversus</i> | 13 |
| 6.10. Mapa de Representatividad de <i>Crotalus transversus</i> en Áreas Naturales Protegidas..... | 14 |
| 7. Amenazas | 15 |

| | |
|---|----|
| 8. Conclusiones y recomendaciones para la conservación de <i>Crotalus transversus</i> con énfasis en el estado de Morelos. | 15 |
| 9. LITERATURA..... | 16 |

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

La serpiente de cascabel (*Crotalus transversus*) es micro-endémica a las cadenas montañosas de la Sierra de las Cruces y al corredor Ajusco Chichinautzin en los estados de Morelos, Ciudad de México y Estado de México. Se encuentra en peligro de extinción principalmente por la pérdida de su hábitat y se desconoce prácticamente toda la información indispensable para establecer estrategias de conservación. Por lo anterior, el presente proyecto tiene como objetivo generar información sobre la presencia de la especie en el estado de Morelos, su distribución geográfica y ecológica, la caracterización de su hábitat y junto con una revisión exhaustiva de literatura científica identificar áreas y acciones críticas para su conservación. Se conocen 13 localidades donde se ha registrado esta especie, una de ellas es nueva para la ciencia y se idéntico a través del presente proyecto.

Palabras clave: Morelos, Chichinautzin, *Crotalus transversus*, endémica, distribución, peligro de extinción.

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. Algunas 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 (áreas de diversidad y endemismo), ecológicos (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 establecer estrategias a corto, mediano y largo plazo, que permitan la subsistencia de las poblaciones y este es el caso de muchas serpientes de la familia Viperidae (víboras) en particular en Latinoamérica (Maritz *et al.* 2016).

México es el país con más especies de víboras en el mundo con cerca del 20% de la biodiversidad (SEMARNAT, 2018) además, en el país se presentan una gran cantidad de endemismos de especies e incluso de géneros, lo que implica una mayor responsabilidad en la conservación de las serpientes de esta familia.

El género *Crotalus* es uno de los grupos más diversos del mundo en cuanto a víboras (43 especies) y en México se distribuyen 37 especies (86% de las especies del mundo), de las cuales 22 son endémicas al país (el 51 %), 22 especies se encuentran en 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), 13 especies se encuentran en la categoría de Protección Especial (Pr), siete como Amenazadas (A) y una (*Crotalus transversus*) en Peligro de Extinción (P) (SEMARNAT 2010; Paredes-García *et al.* 2011; Uetz *et al.* 2017).

Crotalus transversus es una especie micro-endémica de las montañas de la Sierra de las Cruces y del Corredor Ajusco-Chichinautzin, fue descrita por Taylor en el año de 1944 en la localidad de Tres Cumbres en Tres Marías Morelos, con una elevación de 3 048 msnm.

A partir de su descripción solo se han escrito notas aisladas de distribución geográfica (Camarillo y Campbell, 1993; Camarillo y Campbell 2002; Heimes y Cortes 2004; García-Vázquez 2008; Centenero-Alcalá *et al.* 2010) y se han escrito algunas fichas en libros de serpientes venenosas y de serpientes de cascabel (Klauber 1972; Armstrong y Murphy 1979; Campbell 1988; Campbell y Lamar 2004; Ramírez-Bautista *et al.* 2004; Ramírez-Bautista *et al.* 2009) donde mencionan aspectos de su biología.

Por lo antes mencionado es imperante elaborar un estudio que permita conocer la distribución de *Crotalus transversus* en el estado de Morelos, así como el estado de sus poblaciones, diagnosticar sus amenazas e identificar áreas y acciones críticas para su conservación.

2. OBJETIVO GENERAL

Obtener información actual sobre el estado de conservación de *Crotalus transversus*.

2.1 Objetivos particulares

1. Elaborar mapas de puntos, de idoneidad ambiental y distribución potencial de *Crotalus transversus*.
2. Recopilar la información biológica disponible sobre historia natural, ecología, reproducción y biología en general de *Crotalus transversus*.
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 topoformas 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. TRABAJO DE CAMPO

Se realizaron prospecciones de campo desde el día 19 de julio de 2018 hasta el 19 de noviembre de 2018. En cada salida por lo menos dos personas realizaron la búsqueda activa en 151 parcelas de 31.6mX31.6m lo que equivale a un área de 150,000.00 m².

El único ejemplar observado y capturado corresponde a un organismo hembra detectado en la frontera del estado de Morelos con la Ciudad de México en el Volcán Chichinautzin en las coordenadas: - 99.165969N, 19.094889O (WGS1984).

El ejemplar observado se encontró en un parche de bosque de oyamel bajo una roca basáltica, cabe mencionar que el sitio no contenía suelo, era principalmente rocoso y al redor del parche había matorrales naturales y malpaís.

El ejemplar fue fotografiado y liberado en el mismo lugar donde se capturó (Ver anexo de fotografías).

5. RESULTADOS

5.1 Ficha de *Crotalus transversus*.

Nombre científico: *Crotalus transversus* (Taylor 1944).

Nombres comunes en español: Cascabel de bandas cruzadas, Víbora de cascabel.

Nombre común en inglés: Cross-banded mountain rattlesnake.

Etimología

Linneo describió el género *Crotalus* y no específico en la descripción la definición etimológica. Sin embargo, se ha reconocido que el nombre del género proviene del latín “*crotalum*” que significa cascabel en referencia al peculiar apéndice que caracteriza al grupo.

El epíteto específico *transversus* deriva del latín “*trans*” y “*versus*” que hace referencia a las franjas transversales que están dispuestas a lo largo del cuerpo.

Descripción

Es una serpiente de cascabel pequeña, el ejemplar más grande conocido es una hembra de 46.5 cm de longitud total (LT) y el largo de la cola representa alrededor de 10.5 % de la longitud total en los machos y entre 7.1 y 7.9 % en las hembras (Campbell, 1988; Campbell y Lamar, 2004; Ramírez-Bautista, 2004; Ramírez-Bautista *et al.* 2009).

Presenta 21 hileras de escamas dorsales, de 3 a 5 preventrales, de 141 a 145 escamas ventrales en los especímenes machos y de 136 a 155 en las hembras, de 25 a 26 escamas subcaudales en machos y de 18 a 22 escamas en las hembras, las escamas distales 3-9 subcaudales están divididas. En la base del cascabel tienen de 8 escamas (Campbell 1988, Campbell y Lamar 2004, Ramírez-Bautista 2004, Ramírez-Bautista *et al.* 2009).

Poseen una escama rostral más ancha que alta, tienen dos escamas internasales largas y una escama cantal en cada lado de la cabeza, de 4 a 6 escamas internasales y de 1 a 3 escamas intersupraoculares, una escama loreal de cada lado. Tienen de 8 a 10 (usualmente 9) escamas supralabiales y de 8 a 9 (usualmente 9) escamas infralabiales (Campbell 1988, Campbell y Lamar 2004, Ramírez-Bautista 2004, Ramírez-Bautista *et al.* 2009).

Se reconocen dos morfotipos en cuanto a su color, especímenes que tienen tonos anaranjados de fondo y otras con fondos de color gris o café. Presentan de 37 a 47 franjas oscuras a lo largo del cuerpo y de 5 a 9 en la porción de la cola, presentan dos manchas pequeñas en la base de la cabeza y una franja ocular oscura que va desde las escamas postoculares hasta las que están a la altura de la base de la mandíbula, las escamas supralabiales son color crema. La región ventral presenta tonos que van desde color salmón, hasta gris claro con manchas oscuras irregulares (Campbell 1988, Campbell y Lamar 2004, Ramírez-Bautista 2004, Ramírez-Bautista *et al.* 2009).

Reproducción

Crotalus transversus es una especie vivípara. El 13 de julio de 1992 se capturó a una hembra grávida, dos crías nacieron mientras que dos más no lograron sobrevivir. Adicionalmente se conoce una cría capturada en agosto de 1992 poco después de nacer, dicho ejemplar media 164 mm. Debido a que se han encontrado hembras adultas gravidas y no gravidas en los meses de julio y agosto se ha sugerido

que esta especie presenta un patrón de reproducción bianual como otras especies de cascabel de Montaña (Camarillo y Campbell 1993, Camarillo y Campbell 2002).

Alimentación

Camarillo y Campbell (2002) reportan que un ejemplar mantenido en cautiverio se alimentó de lagartijas de *Plestiodon copei*, *Sceloporus grammicus*, *S. mucronatus* y *S. aeneus*. Mientras que, José Luís Jaramillo en 2017 encontró un ejemplar de *C. transversus* muerto aparentemente atragantado con una lagartija *Sceloporus grammicus* en la localidad mencionada en este trabajo como “Ajusco”. En cautiverio *C. transversus* se ha alimentado de crías de ratón.

Hábitat y microhábitat

Se han colectado ejemplares de *Crotalus transversus* en bosques de pino, bosques de oyamel, bosques de encino, bosques mesófilos y pastizales de montaña. En la mayoría de los casos los autores mencionan que los ejemplares ocurren en zonas con muchas rocas y que son activos en días nublados (Camarillo y Campbell 1993, Camarillo y Campbell 2002, Heimes y Aguilar-Cortes 2004).

Durante el trabajo de campo del presente proyecto encontramos un ejemplar de *Crotalus transversus* a 3.32 km (airline) a 277° NW de la cumbre del Volcán Chichinautzin a una altitud de 3 100 msnm. El ejemplar se capturó bajo una roca, en un parche de bosque de oyamel con abundantes rocas producto del derrame del Volcán Chichinautzin.

Distribución

Se distribuye en poblaciones aisladas en la Sierra de las Cruces y en Sierra del Ajusco, en los estados de Ciudad de México, Estado de México y Morelos. En el cuadro 1 se muestran las localidades conocidas para la especie. Cabe destacar que la localidad descrita aquí como Chichinautzin GJV se identificó a partir del presente proyecto.

Cuadro 1. Localidades conocidas de *Crotalus transversus*. Gustavo Jiménez Velázquez (GJV), Uri O. García Vázquez (UOGV), Ismael Campos Molina (ICM), Jorge L. Rivas Camacho (JLC- Usuario Naturalista), Rubén Castro Franco (RCF), Leticia M. Ochoa Ochoa (LOO).

| Estado | Localidad | Longitud | Latitud | Georreferenciación | Referencia |
|--------|----------------------------|------------|-----------|--------------------|--------------------------------------|
| CDMX | Ajusco | -99.273533 | 19.222177 | GJV | Pérez-Mendoza. Comunicación personal |
| CDMX | Cerro Panza | -99.277821 | 19.218125 | UOGV | García-Vázquez <i>et al.</i> 2008 |
| CDMX | Caseta Forestal Viborillas | -99.289799 | 19.220916 | ICM | Campos-Rodríguez <i>et al.</i> 2015 |
| CDMX | Xitle | -99.207 | 19.2462 | ECA | Centenero-Alcalá <i>et al.</i> 2010 |
| CDMX | Chichinautzin PH | -99.135649 | 19.093964 | GJV | Heimes y Aguilar-Cortés 2004 |
| CDMX | Chichinautzin GJV | -99.165969 | 19.094889 | GJV | Este proyecto |
| CDMX | Chichinautzin JLC | -99.1354 | 19.0905 | JLC | Naturalista-GBIF 2018 |
| MOR | Tres cumbres | -99.222571 | 19.064735 | GJV | Taylor 1945 |
| MOR | Mesa de Tabaquillos | -99.2925 | 19.0869 | GJV | GBIF 2018 |
| MOR | 4 km N Tres Cumbres | -99.231 | 19.054 | RCF | GBIF 2018 |

| | | | | | |
|---------|-------------------------------|------------|-----------|-----|---------------------------|
| MOR | Zempoala atrás de la 4 laguna | -99.3083 | 19.075 | LOO | GBIF 2018 |
| EDO MEX | Los Tachos | -99.502609 | 19.542603 | GJV | Camarillo y Campbell 1993 |
| MOR | Zempoala 9800 ft | -99.3034 | 19.0523 | LOO | GBIF 2018 |

6. Modelado de la distribución de *Crotalus transversus*

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.

6.1 Datos de presencia de *Crotalus transversus*

Los datos de presencia para realizar el modelo de distribución de especies son los presentados en el cuadro 1. Cabe mencionar que, aunque existen más georreferencias únicas en distintas bases de datos como GBIF y REMIB estas son distintas interpretaciones de las mismas localidades.

6.2 Datos ambientales

Para realizar los modelos de distribución de *Crotalus transversus* se emplearon las 19 capas bioclimáticas WORLDCLIM 2 (cuadro 2), las capas bioclimáticas tienen una resolución aproximada de 1km² 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 |

6.3 Identificación del Área Accesible o “M”

Se definió un Área Accesible o “M” para modelar la distribución de *Crotalus transversus*. 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 *Crotalus transversus* 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 km²) lo cual es congruente para realizar el modelado de la distribución de una especie micro-endémica.

6.4 Algoritmos para modelar la distribución de *Crotalus transversus* y modelo consenso

Para modelar la distribución de *Crotalus transversus* 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 para modelar la distribución de *Crotalus transversus* 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, así como para identificar los umbrales para realizar mapas binarios, 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. 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 rango de omisión, la sensibilidad (verdaderos positivos), especificidad (verdaderos negativos) y el rango de clasificaciones correctos.

6.5 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 *Crotalus transversus* 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.

6.6 Modelo de distribución de distribución de *Crotalus transversus*

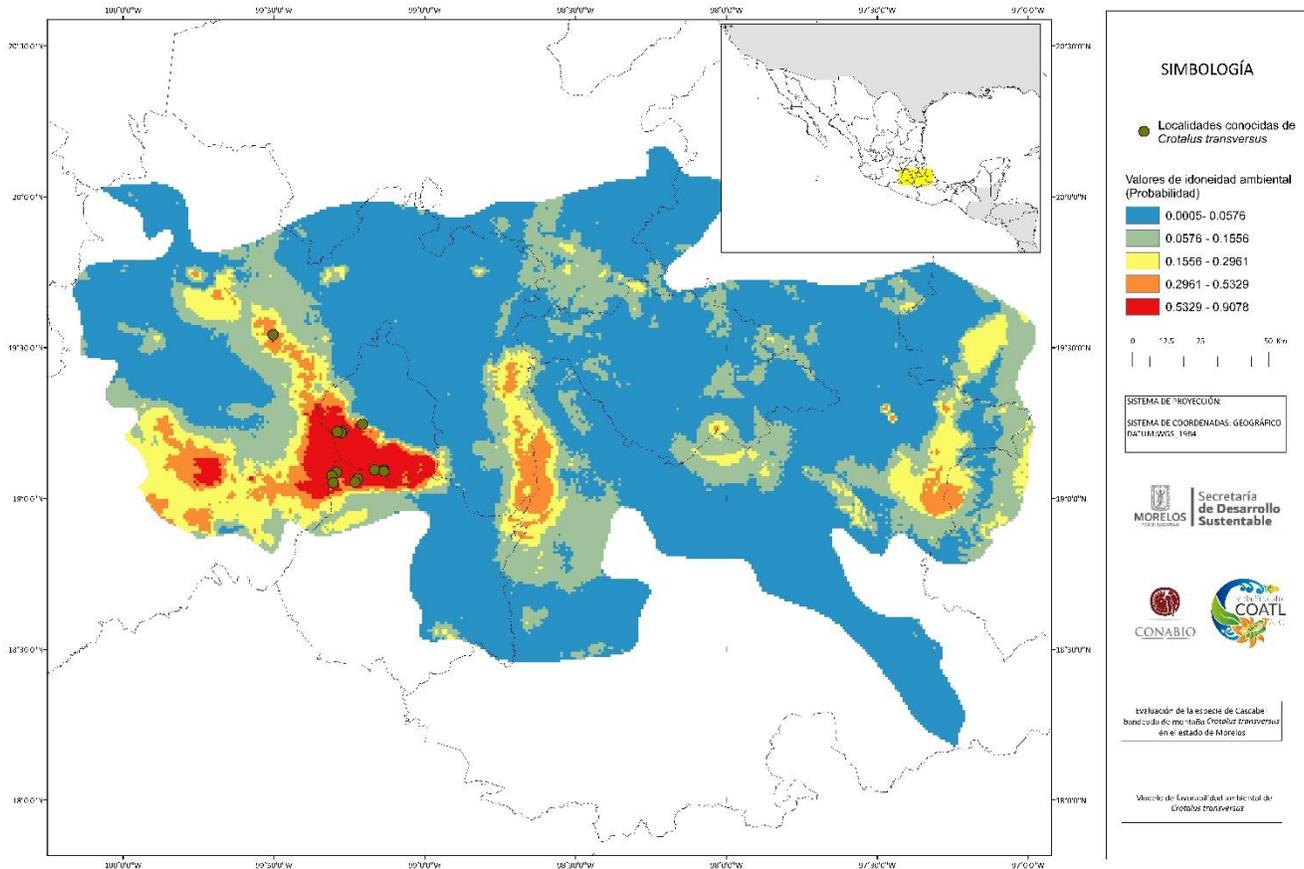
Como se mencionó en la metodología se elaboraron modelos a través de nueve diferentes algoritmos con diez réplicas de cada uno y un modelo consenso. Los resultados estadísticos de los diferentes modelos se muestran en el siguiente cuadro.

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

| Algoritmo | threshold | AUC | omission.rate | sensitivity | specificity | prop.correct |
|-----------|-----------|-------|---------------|-------------|-------------|--------------|
| GAM | 0.091 | 0.877 | 0.125 | 0.875 | 0.879 | 0.879 |
| GLM | 0.078 | 0.920 | 0.075 | 0.925 | 0.915 | 0.915 |
| MARS | 0.055 | 0.882 | 0.150 | 0.850 | 0.915 | 0.914 |
| MAXENT | 0.469 | 0.978 | 0.000 | 1.000 | 0.956 | 0.956 |
| CTA | 0.500 | 0.850 | 0.150 | 0.850 | 0.750 | 0.800 |
| GBM | 0.434 | 0.913 | 0.075 | 0.925 | 0.900 | 0.913 |
| RF | 0.631 | 0.972 | 0.028 | 0.972 | 0.972 | 0.972 |
| SVM | 0.506 | 0.925 | 0.075 | 0.925 | 0.925 | 0.925 |
| Consenso | 0.345 | 0.915 | 0.085 | 0.915 | 0.901 | 0.909 |

6.7. Mapa de favorabilidad ambiental de *Crotalus transversus*

El modelo de favorabilidad ambiental o modelo de probabilidad de presencia (*sensu* Schmitt *et al.* 2017) representa las condiciones ambientales donde *Crotalus transversus* 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 (Schmitt *et al.* 2017). En el mapa de favorabilidad ambiental que presentamos a continuación podemos observar que la sierra Ajusco-Chichinautzín es la formación geomorfológica que donde *Crotalus transversus* tiene las mejores condiciones climáticas. Otros sitios de favorabilidad ambiental alta son las zonas altas del Nevado de Toluca, la Sierra Fría (Iztacihuatl y Popocatepetl), El volcán la Malinche, el Pico de Orizaba en Veracruz y la Sierra de las Cruces, aunque solo en esta última sierra se ha documentado otras poblaciones de esta serpiente de cascabel.



2. Mapa de favorabilidad ambiental de *Crotalus transversus*.

6.8. Modelo de distribución de *Crotalus transversus*

El modelo de distribución, en inglés “*species distribution model*” o también llamado por alguno modelo de distribución potencial, es la representación del mapa de favorabilidad ambiental reclassificando 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 *Crotalus transversus*.

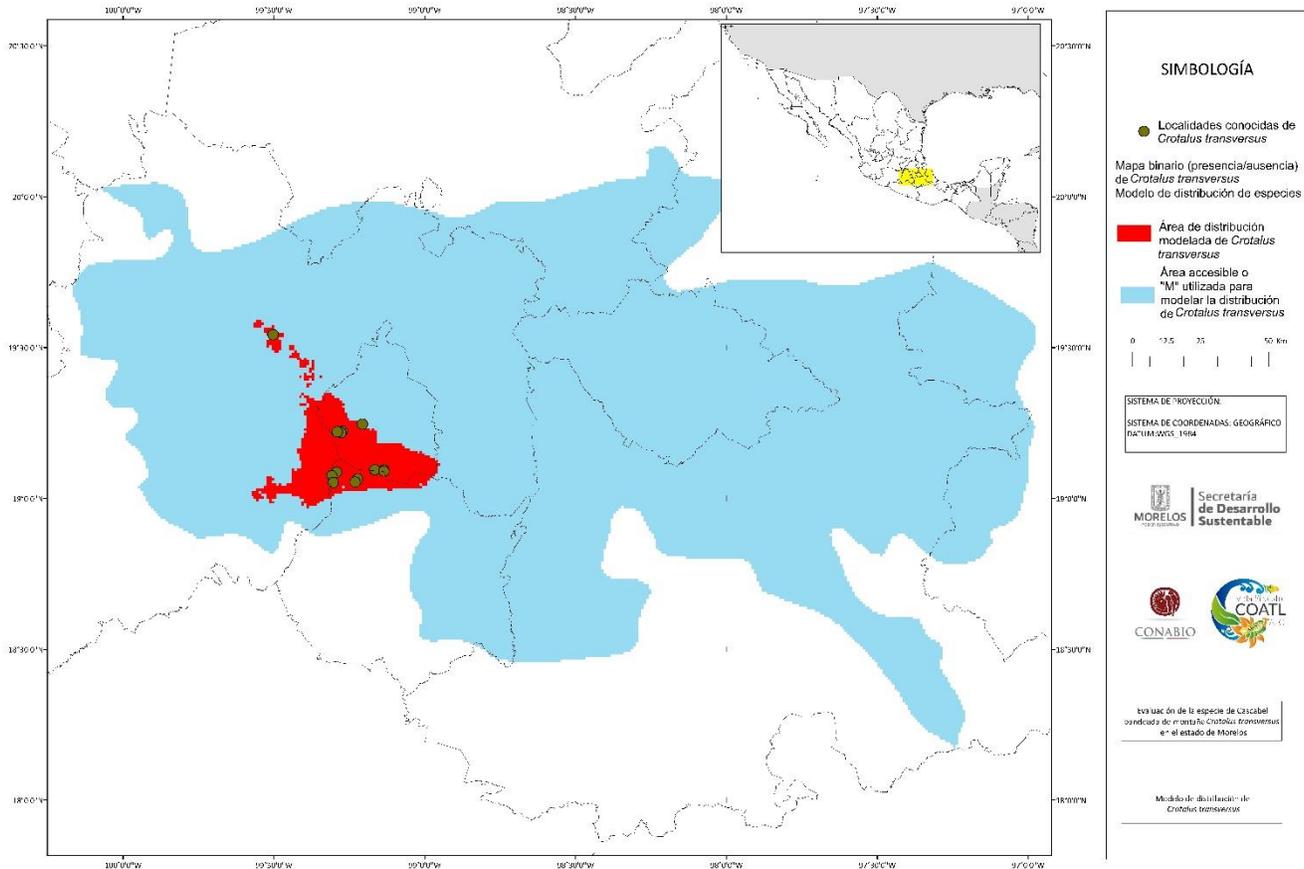


Figura 2. Modelo de distribución de *Crotalus transversus*

6.9. Mapa de Áreas Críticas para la Conservación de *Crotalus transversus*

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 *Crotalus transversus*. En este mapa se puede observar que existe una severa fragmentación en el hábitat de *Crotalus transversus* y que muy probablemente las tres poblaciones correspondientes a las Sierra de las cruces, Lagunas de Zempoala y Volcán Chichinautzin estén aisladas entre ellas por cambio de uso de suelo.

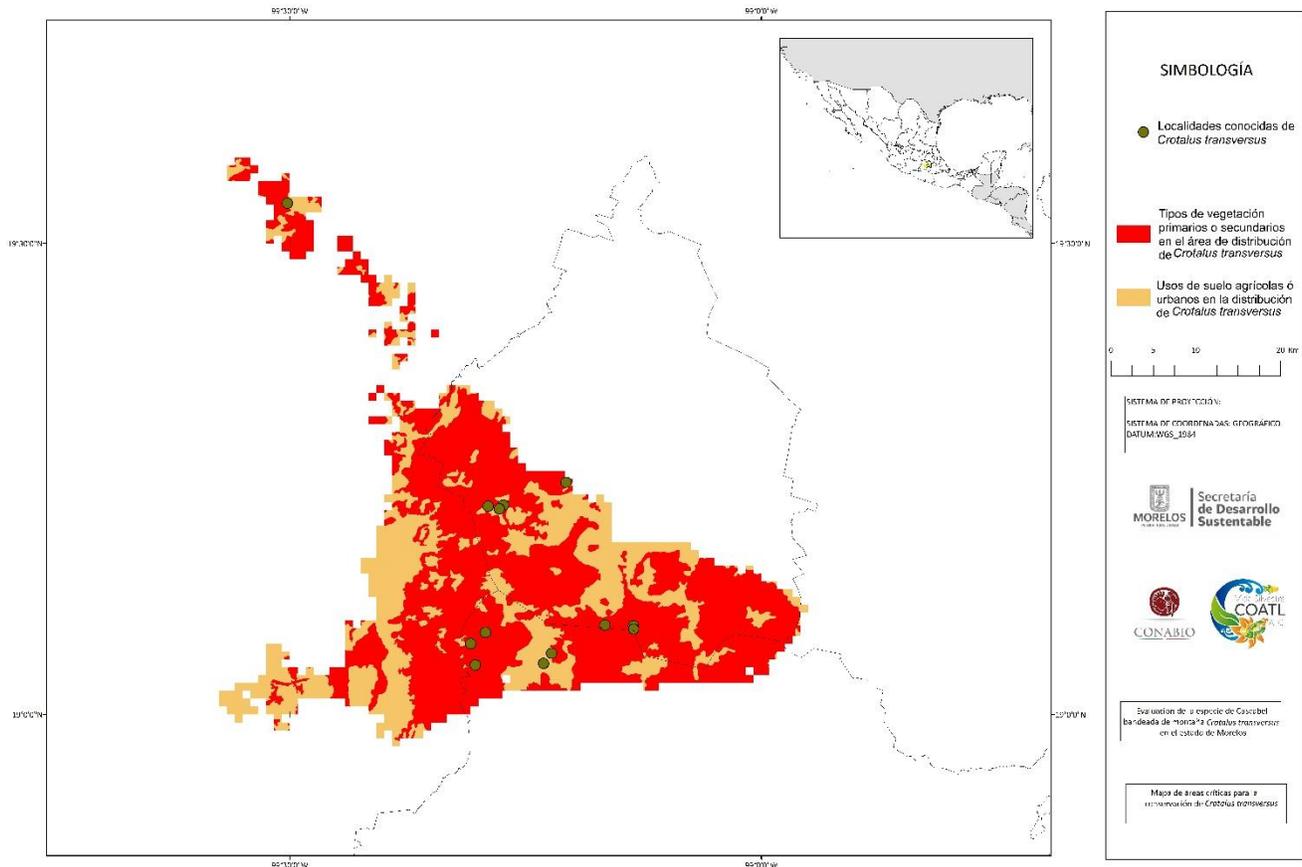


Figura 3. Mapa de áreas críticas para la conservación de *Crotalus transversus*.

6.10. Mapa de Representatividad de *Crotalus transversus* en Áreas Naturales Protegidas

En el siguiente mapa se puede observar que en el Estado de Morelos y sur de la Ciudad de México *Crotalus transversus* 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 *Crotalus transversus* 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, aunque en estos últimos dos nunca se ha documentado la presencia de la especie.

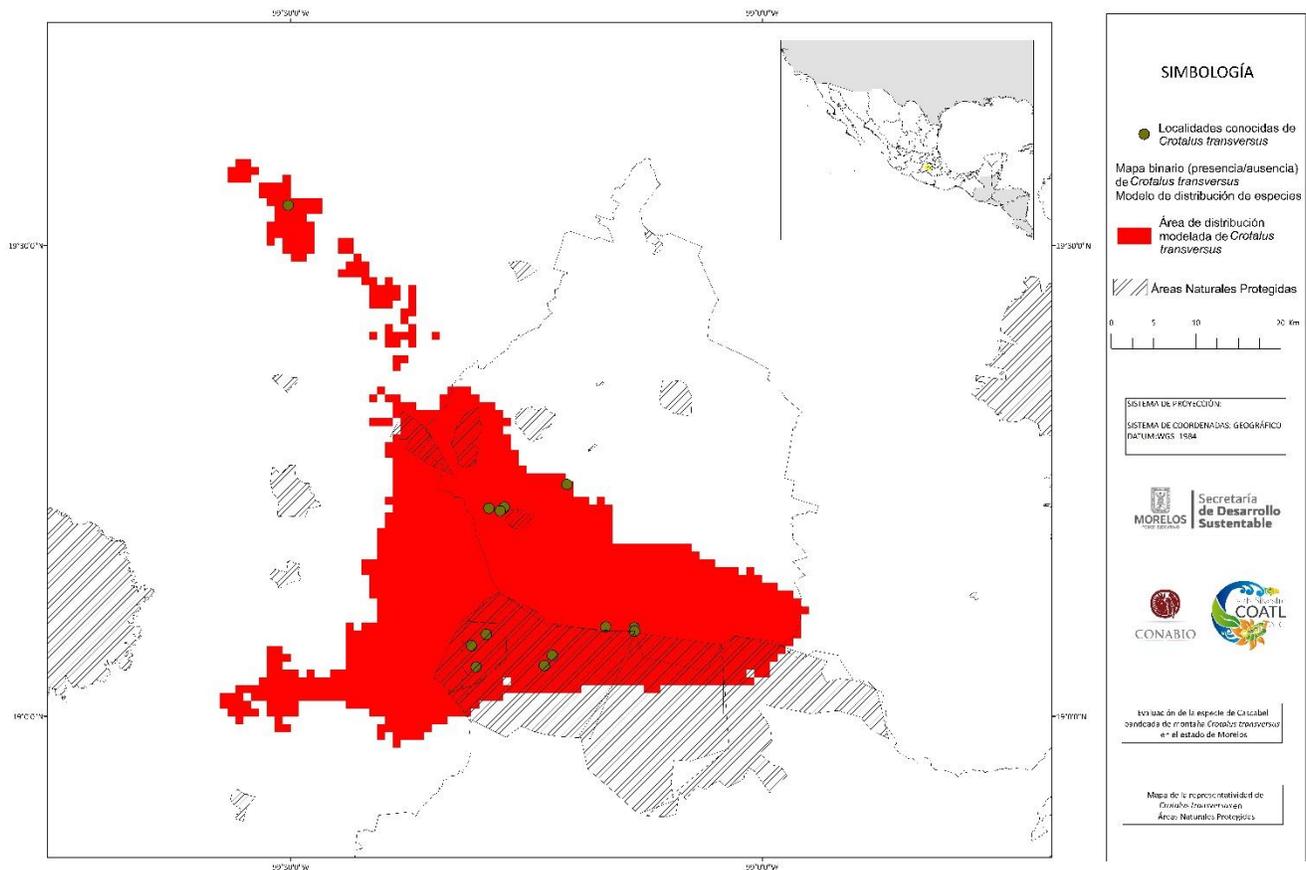


Figura 4. Mapa de representatividad de *Crotalus transversus* en Áreas Naturales Protegidas.

7. Amenazas

Las principales amenazas reconocidas para esta especie son la pérdida del hábitat debido al crecimiento de áreas agrícolas en las inmediaciones del volcán Chichinautzin, la localidad de Parres y las zonas rurales de Huitzilac (Ávila-Villegas *et al.* 2018, SEMARNAT 2018).

Por otro lado, es también preocupante que la población capture o asesine a las serpientes de cascabel en esta zona para venderlos en tianguis informales, vender los ejemplares por la creencia de que la carne de serpiente de cascabel cura el cáncer o simplemente por el miedo que causan las serpientes (Ávila-Villegas *et al.* 2018, SEMARNAT 2018).

8. Conclusiones y recomendaciones para la conservación de *Crotalus transversus* con énfasis en el estado de Morelos.

Crotalus transversus es una especie en grave peligro debido a lo restringido de su área de distribución y la acelerada pérdida de su hábitat debido a actividades agrícolas, pecuarias, deforestación y por la urbanización (SEMARNAT 2018). Otra de las amenazas más importante para esta especie en particular es que puede ser capturada y/o asesinada por los pobladores de Huitzilac y las comunidades rurales de todo el municipio por considerarlas peligrosas o por pensar que pueden ser utilizadas como remedio contra el cáncer (SEMARNAT 2018).

Por lo anterior las recomendaciones para la conservación de esta especie son el impartir pláticas en foros como escuelas y plazas delegacionales con el objetivo de instruir en todos los niveles la importancia ecológica y cultural de esta especie, también para evitar que se tenga una idea errónea sobre los accidentes ofídicos y la cura del cáncer (SEMARNAT 2018).

Por otro lado, se debe de hacer gestiones para que no se siga perdiendo el hábitat de *Crotalus transversus* por deforestación, incendios forestales y por el cambio de uso de suelo por actividades productivas o urbanización.

Debido a que se desconoce gran parte de la biología de *Crotalus transversus*, especialmente su ecología, es importante conducir un monitoreo a largo plazo para conocer sus tendencias poblacionales lo que permitirá, enfocar de mejor manera recursos para su conservación. En el caso del estado de Morelos se recomienda monitorear las poblaciones del volcán Chichinautzin, en la Ciudad de México las poblaciones del volcán Ajusco y del volcán Xitle, y en el estado de México redescubrir y monitorear la población de Los Tachos, ya que desde el primer y único registro de esa zona es de hace 25 años y extiende hacia el norte su distribución 45 km en línea recta de la siguiente localidad más norteña conocida (Volcán Xitle).

9. LITERATURA

- Ávila-Villegas, H. 2018. Serpiente de cascabel. Entre el Peligro y la Conservación. CONABIO, México.
- Araújo, M. B., y M. New. 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution* 22(1): 42–47.
- Armstrong, B.L. y J.B. Murphy. 1979. The Natural History of Mexican Rattlesnakes. University of Kansas Museum Natural History Special Publications 1(5): 1-88.
- Barve, N., V. Barve, 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.
- 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
- Camarillo, R.J.L. y J.A. Campbell. 1993. A 2nd Confirmed Population of the Rare Mexican Rattlesnake, *Crotalus transversus* (Serpentes, Viperidae). *Texas Journal of Science* 45(2): 178-179.
- Camarillo, R.J.L. y J.A. Campbell. 2002. Observaciones Sobre la Historia Natural de *Crotalus transversus* (Squamata: Viperidae). *Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana* 10(1): 7-9.
- Campbell, J.A. 1988. *Crotalus transversus*. Cat. Amer. Amph. Rept., 450. 1-450.3.
- Campbell, J., y W. Lamar. 2004. The Venomous Reptiles of the Western Hemisphere. Volume II. Comstock Publishing Associates. 870 pp.
- Campos Rodríguez, J.I. 2015. Modelaje de la distribución potencial de 10 especies de anfibios y reptiles en riesgo de extinción con escasos registros de presencia. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. JM042. México D.F.
- Cervantes-Zamora, Y., S.L. Cornejo-Olgín, R. Lucero-Márquez, *et al.* 1990. Provincias Fisiográficas de México. En: <www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>, última consulta: 3 de julio de 2018.
- Centenero-Alcalá, E., U.O. García-Vázquez, A.A. Mendoza-Hernández, *et al.* 2010. Geographic distribution: *Crotalus transversus*. *Herpetological Review* 41(4): 515–516.
- Dirzo, R., H.S. Young, M. Galetti, *et al.* 2014. Defaunation in the Anthropocene. *Science* 345(6195): 401–406.
- 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.
- 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.
- García-Vázquez O., I. Solano-Zavaleta I. y A. Nieto-Montes de Oca. 2008. New Record From Distribution of *Crotalus transversus*. *Herpetological Review* 39(4).
- Heimes, P. y P. Cortés. 2004. Verbreitung und Typus-Fundort von *Crotalus transversus* TAYLOR, 1944. *Salamandra*. 40(1): 91-96.
- Klauber, L.M. 1972. Rattlesnakes: Their Habits, Life Histories, and Influence on Mankind. Second Edition. University of California Press, Berkeley, California.
- Maritz, B., J. Penner, M. Martins, *et al.* 2016. Identifying global priorities for the conservation of vipers. *Biological Conservation* 204:94-012.
- Paredes-García, D. M., A. Ramírez-Bautista y M.A. Martínez-Morales. 2011. Distribución y representatividad de las especies del género *Crotalus* en las áreas naturales protegidas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82, 689–700.
- Peterson, a. T., J. Soberón, R.G. Pearson, *et al.* 2011. Ecological niches and geographic distributions. Princeton University Press. 314pp. USA.

- Qiao, H., Soberón, J., 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/>, última consulta: X de X de 2018.
- Ramírez-Bautista, A., U. Hernández-Salinas, U. O. García-Vázquez, *et al.* 2009. Herpetofauna del Valle de México: Diversidad y Conservación. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 213 pp México.
- Ramírez Bautista, A., F. Mendoza Quijano, X. Hernández Ibarra, *et al.* 2004. Ficha técnica de *Crotalus transversus*. En: Arizmendi, M.C. (compilador). Estatus y conservación de algunos anfibios y reptiles de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos (UBIPRO), Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. W043. México, D.F.
- 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.
- SEMARNAT, 2018. Programa de Acción para la Conservación de las Especies: Serpientes de Cascabel (*Crotalus* spp.). Semarnat/Conanp, México.
- Schmitt, S., R. Pouteau, D. Justeau, *et al.* 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.
- Taylor, E.H. 1944. Two New Species of Crotalidae Snakes from Mexico. *University of Kansas Science Bulletin* 30(4): 47-56.
- Uetz, P., P. Freed, P. y J. Hošek. 2017. The Reptile Database. En <http://www.reptile-database.org>, última consulta: el 10 de octubre de 2017.