

# Universidad Autónoma de Tlaxcala

---

Posgrado en Ciencias Biológicas

Análisis de la diversidad de anfibios y  
reptiles del estado de Tlaxcala

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

P r e s e n t a

Omar Ramírez Icaza

Director o codirectores  
Dr. Aníbal Helios Díaz de la Vega Pérez  
Dr. Uri Omar García Vázquez

Tlaxcala, Tlax.

Febrero, 2023.



**Universidad Autónoma de Tlaxcala**

---

**Posgrado en Ciencias Biológicas**

Análisis de la diversidad de anfibios y reptiles del  
estado de Tlaxcala

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

P r e s e n t a

**Omar Ramírez Icaza**

**Codirectores**

Dr. Aníbal Helios Díaz de la Vega Pérez

Dr. Uri Omar García Vázquez

**Tutores**

Dra. Itzel Arias del Razo

Dr. Fausto Roberto Méndez de la Cruz

Tlaxcala, Tlax.

Febrero, 2023

## Financiamiento

- 1) Proyecto del Fondo Sectorial de Investigación SRE-CONACYT: Análisis de la conectividad funcional entre los Parques Nacionales La Malinche e Iztaccíhuatl-Popocatepetl e identificación de áreas prioritarias para la conservación (Número de proyecto: 286794).
- 2) Proyecto de Cátedras CONACYT: Aproximación ecofisiológica para la conservación del Parque Nacional La Malinche (Número de proyecto: 883).
- 3) Beca de maestría CONACYT (Número: 1081121). La Maestría en Ciencias Biológicas pertenece al Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) en la categoría de programa consolidado.

Oficio de autorización



Universidad Autónoma de Tlaxcala  
Centro Tlaxcala Biología de la Conducta (CTBC)  
Maestría en Ciencias Biológicas  
Proceso: Posgrado CTBC  
Registro: Carta Autorización de Impresión de Tesis

Código: 503-RGE-26


Revisión: 03


**COORDINACIÓN MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA  
P R E S E N T E**

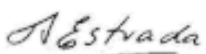
Los abajo firmantes, miembros del jurado evaluador del proyecto de tesis que Omar Ramírez Icaza realiza para la obtención del grado de Maestro en Ciencias Biológicas, expresamos que, habiendo revisado la versión final del documento de tesis, damos la aprobación para que ésta sea impresa y defendida en el examen correspondiente. El título que llevará es "Análisis de la diversidad de anfibios y reptiles del estado de Tlaxcala".

Sin otro particular, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

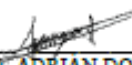
**A T E N T A M E N T E**  
TLAXCALA, TLAX., A 24 DE ENERO DEL 2023

  
\_\_\_\_\_  
DRA. ITZEL ARIAS DEL RAZO

  
\_\_\_\_\_  
DR. URI OMAR GARCÍA VAZQUEZ

  
\_\_\_\_\_  
DR. ARTURO ESTRADA TORRES

  
\_\_\_\_\_  
DRA. SANDRA GARCÍA DE JESUS

  
\_\_\_\_\_  
DR. MIGUEL ADRIÁN DOMÍNGUEZ GODOY

Carta no plagio



*Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta  
Secretaría de Investigación Científica y Posgrado  
Coordinación de la División de Ciencias Biológicas*

Tlaxcala de Xicoténcatl a 30 de enero del 2023

**COMITÉ ACADÉMICO  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

Sirva este medio para describir el proceso de revisión de la tesis realizada por el estudiante Omar Ramírez Icaza titulada "Análisis de la diversidad de anfibios y reptiles del estado de Tlaxcala" para optar por su grado de Maestro en Ciencias Biológicas.

El documento de la tesis de Omar Ramírez Icaza fue revisado por mí y por los miembros de su comité tutorial, los cuales realizamos observaciones y sugerencias. De manera que el documento, llevó un proceso de revisión por parte de los miembros del comité tutorial y del jurado de examen. En el mes de enero del año en curso, el documento final de la tesis fue procesado con el programa Turnitin para detectar similitud con textos previamente publicados. Después del análisis de similitud se detectó 1% de coincidencias, las cuales corresponden a formatos establecidos, citas bibliográficas, conceptos y frases de uso común.

Por lo anterior, confirmo que la estudiante no incurrió en ninguna práctica no deseable en la escritura de la tesis.

Sin más por el momento, reciban atentos saludos.

Atentamente

Dr. Aníbal H. Díaz de la Vega Pérez  
Cátedras CONACyT  
Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta  
Universidad Autónoma de Tlaxcala



Sistema Institucional de Gestión de la Calidad Certificado bajo la Norma:  
ISO 9001:2015-NMX-CC-9001-IMNC-2015



## Agradecimientos

- ✓ Al Posgrado en Ciencias Biológicas del Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta de la Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- ✓ A CONACYT por haberme otorgado la beca de maestría 1081121.
- ✓ Proyecto del Fondo Sectorial de Investigación SRE-CONACYT: Análisis de la conectividad funcional entre los Parques Nacionales La Malinche e Iztaccíhuatl-Popocatepetl e identificación de áreas prioritarias para la conservación (Número de proyecto: 286794).
- ✓ A mi comité tutorial, Dr. Aníbal Helios Díaz de la Vega Pérez, Dr. Uri Omar García Vázquez, Dra. Itzel Arias del Razo y Dr. Fausto Roberto Méndez de la Cruz por su tiempo y enseñanzas durante la realización de este trabajo.
- ✓ A mi comité de evaluación, Dr. Uri Omar García Vázquez, Dra. Itzel Arias del Razo, Dra. Sandra García de Jesús, Dr. Arturo Estrada Torres, Dr. Miguel Adrián Domínguez Godoy.
- ✓ A los miembros del Laboratorio de Ecofisiología y Diversidad de Anfibios y Reptiles de la Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- ✓ Al Laboratorio de Zoología de la Facultad de Agrobiología de la Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- ✓ A la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles” del Instituto de Biología-Universidad Nacional Autónoma de México (CNAR-UNAM).
- ✓ A la “Colección Herpetológica del Museo de Zoología Alfonso L. Herrera” (MZFC-UNAM).
- ✓ A la Colección de Anfibios y Reptiles de la Benemérita Universidad de Puebla.
- ✓ La “Colección de Anfibios y Reptiles de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza-UNAM” (MZFZ-UNAM).
- ✓ A los Drs. Omar Hernández Ordoñez y Víctor Hugo Reynoso Rosales por permitirnos la entrada a la CNAR-UNAM y su apoyo con el acceso a la información de los ejemplares.
- ✓ Dr. Edmundo Pérez-Ramos y Dr. Oscar Flores-Villela por permitirnos la entrada al Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias-UNAM y su apoyo con el acceso a la información de los ejemplares.
- ✓ A la Dra. Sandra García de Jesús por permitirnos la entrada a la Colección Regional de Vertebrados del Laboratorio de Zoología de la Facultad de Agrobiología y su apoyo con el acceso a la información de los ejemplares.

## Resumen

Se reconocen para México aproximadamente 420 especies de anfibios y 969 de reptiles, diferentes estudios taxonómicos conductuales y ecológicos los colocan como grupos clave para el buen funcionamiento de los ecosistemas naturales. No obstante, la legislación mexicana calcula que más de la mitad de las especies (52%) que habitan en México se consideran en riesgo por diferentes factores derivados de actividades humanas como el crecimiento de asentamientos humanos y la pérdida y fragmentación del hábitat por cambios de uso de suelo a suelos agrícolas o ganaderos.

Debido al deterioro ambiental actual del estado de Tlaxcala, en el presente trabajo se presenta una evaluación de la diversidad de anfibios y reptiles en los diferentes tipos de vegetación y uso de suelo mediante el uso de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica. Además, se presentan dos propuestas nuevas sobre la medición de la diversidad  $\beta$  buscando sentar las bases para futuros trabajos de ecología y la conservación de la vegetación nativa en uno de los estados con mayor deterioro ambiental dentro del país.

El análisis se elaboró con los registros de anfibios y reptiles del estado de Tlaxcala provenientes de diferentes colecciones científicas nacionales e internacionales, sistemas de servicio de descarga, literatura especializada y trabajo de campo del Laboratorio de Ecofisiología y Diversidad de Anfibios y reptiles del Centro Tlaxcala de Biología de la conducta-UATx. Se utilizaron capas vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación, escala 1:250.000-Serie III (2002), IV (2007), V (2011) y VI (2014) del INEGI y la capa *ráster* del sistema MAD-Mex (Monitoring Activity Data for the Mexican REDD+ program) del estado de Tlaxcala utilizando el software ArcMap, 10.8.

Se evaluó la diversidad alfa con base en la riqueza de especies y diversidad beta con de los diferentes hábitats de anfibios y reptiles de Tlaxcala con base en el índice de disimilitud de Jaccard ( $\beta_{Jac}$ ) y siguiendo el procedimiento propuesto por Baselga (2012), el Índice de Contribución a la Diversidad  $\beta$  y el Índice de Contribución Ponderada de la Diversidad  $\beta$ . La herpetofauna del Tlaxcala se compone de 47 especies, de las cuales 14 son anfibios y 33 son reptiles. Incrementamos cuatro especies a la lista taxonómica de reptiles de Tlaxcala.

Tlaxcala es el estado con menor riqueza y diversidad de reptiles (33 especies) en México y se sitúa como unos de los estados de México menos diversos en anfibios,

únicamente por encima de Baja California Sur, Guanajuato, Zacatecas y Aguascalientes. La mayor riqueza y diversidad de anfibios y de reptiles se registró en el hábitat Agrícola. No obstante, el uso de las nuevas aproximaciones metodológicas en la evaluación de la diversidad confiere ventajas sobre los métodos tradicionales, ya que brindan valores que resumen la contribución real de una comunidad a la diversidad  $\beta$  y ponderan la vulnerabilidad de las especies en los tipos de vegetación nativa del estado de Tlaxcala, sirviendo de apoyo para la toma de decisiones sobre sitios prioritarios para la conservación.



## Glosario de términos

**Anidamiento:** disimilitud entre comunidades ocasionada por la diferencia en la riqueza de especies (Calderón-Patrón y Moreno, 2019).

**Cambio de uso de suelo:** Las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal (López-Vázquez *et al.* 2014).

**Clima:** Patrón promedio a largo término del tiempo total, regional o global (Ramírez-Bautista *et al.* 2014).

**Comunidad:** Grupos de organismos de diferentes especies que viven en un área determinada y que interactúan entre sí (Ramírez-Bautista *et al.* 2014).

**Competencia-** Cualquier interacción que produce un perjuicio mutuo a ambos participantes, ésta se da entre especies que comparten recursos limitados (Ramírez-Bautista *et al.* 2014).

**Diversidad biológica:** variabilidad entre los organismos vivientes de todas las fuentes, incluyendo, entre otros, los organismos terrestres, marinos y de otros ecosistemas acuáticos, así como los complejos ecológicos de los que forman parte; esto incluye diversidad dentro de las especies, entre especies y de ecosistemas (Magurran, 2004).

**Diversidad alfa:** la diversidad local en un hábitat o ecosistema particular; se expresa usualmente como el número de especies (riqueza de especies) de ese hábitat (Moreno, 2001; Halffter y Moreno, 2005)

**Diversidad beta:** comparación de la diversidad entre hábitats o ecosistemas; se expresa usualmente a través de índices de disimilitud o de recambio de especies (Halffter y Moreno, 2005).

**Especie-** Es una categoría taxonómica fundamental de los organismos; un grupo de organismos que son morfológica y reproductivamente más similares entre sí que a otros individuos de otras poblaciones y que comparten un ancestro común (Ramírez-Bautista *et al.* 2014).

**Extinción:** desaparición total de una especie de la faz de la tierra (Ramírez-Bautista *et al.* 2014).

**Extirpación:** la desaparición de una o varias subpoblaciones de una misma especie en una o varias partes de su distribución geográfica total (Del Monte-Luna *et al.* 2008).

**Fragmentación del hábitat:** división a un hábitat continuo provocando la formación de parches cada vez más aislados de menor tamaño y con una mayor superficie de borde expuesta (Arasa-Gisbert *et al.* 2021).

Hábitat: Sitio específico en un medio ambiente físico, ocupado por un organismo, por una especie o por comunidades de especies en un tiempo determinado (Ramírez-Bautista *et al.* 2014).

Herpetofauna: Colectivamente, las especies de anfibios y reptiles que habitan en una región específica (Ramírez-Bautista *et al.* 2014).

Recambio: proporción de especies que son sustituidas entre dos o más comunidades como consecuencia del arreglo espacial o de restricciones espaciales y/o históricas (Calderón-Patrón y Moreno, 2019).

# Índice

Introducción .....	1
Antecedentes .....	5
Hipótesis .....	7
Objetivos .....	7
Material y métodos.....	9
Área de estudio.....	9
Recopilación de datos.....	11
Muestreo y captura de organismos .....	13
Análisis de datos .....	14
Mapas de incidencia .....	25
Resultados .....	25
Recopilación de datos.....	25
Análisis de diversidad .....	31
Mapas de Incidencia.....	43
Discusión .....	44
Conclusiones .....	54
Referencias.....	56
Anexos .....	68

## Introducción

La diversidad biológica se define como “la variabilidad entre los organismos vivientes de todas las fuentes, incluyendo, entre otros, los organismos terrestres, marinos y de otros ecosistemas acuáticos, así como los complejos ecológicos de los que forman parte; esto incluye diversidad dentro de las especies, entre especies y de ecosistemas” (UNEP, 1992; Magurran, 2004; Moreno, 2001). La medición de la diversidad biológica permite generar y poner a prueba teorías sobre diferentes procesos ecológicos como la coexistencia de las especies, sus determinantes históricos y la influencia de las actividades humanas en dichos procesos, además, hace posible la comparación de la magnitud de la diversidad entre diferentes comunidades en distintos momentos de tiempo, o a través de gradientes ambientales naturales o antrópicos y en última instancia puede ser usada para implementar acciones de protección de los ecosistemas (Moreno *et al.* 2011).

La manera más directa de medir la diversidad biológica es por medio de la riqueza de especies, es decir, el número de especies presentes en una comunidad local, temporal y espacialmente homogénea o diversidad alfa ( $\alpha$ ) (Halffter y Moreno, 2005; González-Oreja *et al.* 2010; Cruz-Elizalde *et al.* 2017). Al ser un conteo simple, posee propiedades matemáticas intuitivas que facilitan su interpretación en la caracterización de comunidades, ensamblajes y hábitats (Chao *et al.* 2017). Aunado a esto, si bien existen diferentes definiciones de especie su significado es ampliamente entendido y para un gran número de grupos, las especies son fáciles de detectar y cuantificar (Moreno, 2001).

Por otra parte, existen métodos de medición basados en la estructura de la comunidad, otorgando un valor de importancia a cada especie con base en la abundancia relativa de los individuos, su biomasa, cobertura, productividad, etc. Su importancia radica en la gran cantidad de información a que es capaz de aportar a las bases teóricas de la ecología pues conocer la abundancia relativa de las especies o cambios en la dominancia permite identificar especies con alta sensibilidad a cambios ambientales debido a su reducida representatividad y en última instancia, permite la toma de decisiones y en pro de la conservación (Magurran, 1988; Moreno, 2001).

Tener conocimiento del número de especies, permite ampliar los análisis de diversidad a extensiones territoriales mayores, haciendo posible obtener la tasa de reemplazo de especies

entre hàbitats a través de un gradiente ambiental, a lo cual se le define como diversidad beta ( $\beta$ ) (González-Oreja *et al.* 2010; Cruz-Elizalde *et al.* 2017). La diversidad  $\beta$  expresa el grado de diferenciación entre comunidades biológicas de una región, esta diferenciación está dada por dos patrones diferentes, el reemplazamiento (turnover), que hace referencia a la sustitución de algunas especies por otras entre comunidades y el anidamiento (nestedness), este último implica la pérdida de especies entre comunidades en un gradiente ambiental (Halffter y Moreno, 2005; Baselga y Gómez-Rodríguez, 2019).

Toda esta información puede ser resumida en un índice de diversidad, el cual es un valor de carácter único que nos permite llevar a cabo comparaciones capaces de ser sujetas a comprobaciones estadísticas entre la diversidad de un sitio a través del tiempo o la diversidad entre diferentes sitios y su uso es complementario con los valores de riqueza cuando se realiza una descripción de la diversidad biológica (Magurran, 1988; Moreno, 2001).

Estas medidas de diversidad han sido empleadas para conocer el estado general de los ecosistemas pues han permitido realizar inferencias sobre procesos como la migración, competencia, colonización y extinción de especies que podrían influir en la diversidad. Además, desempeñan una función fundamental en la evaluación del impacto que ejercen las actividades antrópicas en los sistemas ecológicos, siendo usadas como una herramienta para estudiar el efecto de la perturbación y estimar las tasas de extinción debido a la pérdida del hábitat y (Leitner y Turner, 2001; González-Oreja *et al.* 2010).

México se sitúa en el cuarto lugar en la lista de países megadiversos, su superficie terrestre representa el 1.4% del planeta, sin embargo, alberga entre el 10% y 12% del total de especies descritas (Jiménez-Sierra *et al.* 2014). Su localización geográfica, entre las regiones neártica y neotropical (Vite-Silva *et al.* 2010) y su compleja historia geológica han propiciado una gran variación topográfica y climática, que combinadas crean condiciones ambientales y microambientales heterogéneas que hacen posible el establecimiento y supervivencia de una gran variedad de especies (Ramamoorthy *et al.* 1998; Ochoa-Ochoa y Flores-Villela, 2006; Challenger y Soberón, 2008; Badillo-Saldaña *et al.* 2015).

Dentro de su alta diversidad, destacan los anfibios y los reptiles no aviares (a partir de aquí llamados reptiles) como un par de grupos bien representados en México, puesto que, se

reconoce a la fecha 1,389 especies, de las cuales, 420 son anfibios y 969 son reptiles (Wilson *et al.* 2013a; Balderas-Valdivia y González-Hernández, 2021). Diversos estudios taxonómicos, conductuales y ecológicos los colocan como grupos clave para el buen funcionamiento de los ecosistemas naturales (Vite-Silva *et al.* 2010). Sin embargo, la legislación mexicana calcula que más de la mitad de las especies (52%) que habitan en México se consideran en riesgo, mientras que para la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) menos de una cuarta parte de estas especies están amenazadas (NOM-059-SEMARNAT-2010; Wilson *et al.* 2013a).

La diversidad biológica de México se ha visto amenazada por diferentes factores derivados de actividades humanas dentro de los cuales destaca la introducción accidental o premeditada de especies invasoras, la contaminación ambiental, la explotación indiscriminada de los recursos naturales, el crecimiento de asentamientos humanos y la pérdida y fragmentación del hábitat por cambios de uso de suelo a suelos agrícolas o ganaderos (Plascencia *et al.* 2011)

Siendo estas últimas de gran relevancia pues se consideran unas de las principales causas de disminución de especies en todo el mundo, la fragmentación divide a un hábitat continuo provocando la formación de parches cada vez más aislados de menor tamaño y con una mayor superficie de borde expuesta. La formación de estos bordes conlleva a cambios en los factores ambientales naturales, estos pueden ser abióticos como la temperatura, humedad, velocidad del viento, etc. o bióticos, los cuales están relacionados con cambios en las relaciones intra o interespecíficas como la depredación, competencia o parasitismo. Estos cambios pueden tener diferentes efectos sobre diferentes especies y podría culminar en la extirpación o extinción de las especies, por ejemplo, conforme el hábitat desaparece, el acceso a los recursos se ve limitado, lo que puede ocasionar la reducción del tamaño poblacional de algunas especies cuya flexibilidad ecológica al cambio de uso de suelo es menor a la de especies generalistas (Pardini *et al.* 2017; Arasa-Gisbert *et al.* 2021).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2011), México se ubica entre los primeros cinco países con el mayor índice de deforestación en el mundo. Entre los años de 1976 a 2007, las superficies de bosques y selvas naturales han disminuido considerablemente debido a la expansión de campos agrícolas,

pastizales, ganadería y asentamientos humanos generando sistemas naturales altamente susceptibles (Leija, 2016). Un claro ejemplo de esta situación es el estado de Tlaxcala que, a pesar de ser el estado más pequeño de México, es el que presenta mayor deterioro ambiental a nivel nacional debido a la deforestación, contaminación de sus cuerpos acuáticos y erosión. Se calcula que conserva únicamente entre el 17 % y 19 % de vegetación nativa, es decir, vegetación que ha crecido de manera natural y evolucionado con los diferentes suelos, clima y componentes bióticos de una región (Espejel *et al.* 2004; INEGI, 2015). De acuerdo con el INEGI (2015), el 82.34% de la superficie ha sido transformada para el uso de actividades agrícolas y pecuarias, mientras que la tasa de recuperación de su vegetación natural durante los años de 2007 a 2011 fue únicamente del 0.04% y ocupa el séptimo lugar a nivel nacional en procesos de erosión de suelos, de las 401,600 hectáreas que conforman a la entidad, aproximadamente 30% presenta algún grado de alteración.

Estos factores influyen de manera negativa en la dinámica de diversos componentes de la biodiversidad del estado de Tlaxcala, que repercuten en el establecimiento y supervivencia de muchas especies, particularmente de anfibios y reptiles. Estos dos grupos de vertebrados tienen funciones importantes en los ecosistemas como depredadores o presas y debido a su condición de ectotermos, dependen estrechamente de microhábitats y condiciones microclimáticas específicas (Viit y Cadwell, 2014). Cambios en las condiciones abióticas como la baja disponibilidad de la humedad, el aumento de las temperaturas, la velocidad del viento y el aumento en las porciones territoriales expuestas a la radiación solar originadas por el cambio de uso de suelo hacen de este par de vertebrados, grupos altamente susceptibles (Schlaepfer y Gavin 2001; Calderón-Mandujano *et al.* 2008).

Actividades como la tala pueden ser determinantes en la forma en que estos vertebrados explotan los diferentes hábitats y dependiendo de la intensidad pueden ser un factor relevante, que limite el establecimiento y permanencia de diferentes especies con requerimientos específicos. Por ejemplo, la diversidad de especies de reptiles generalistas podría incrementarse en áreas en donde la tala es intensiva, puesto que el aumento de zonas con poca cobertura vegetal genera el aumento de la temperatura, mientras que la diversidad de anfibios puede disminuir por la pérdida arbórea y el decremento de la humedad (Aldape-López y Santos-Moreno, 2016). Por otra parte, una apertura en el dosel producto de la tala selectiva

puede ofrecer sitios soleados que son utilizados por lagartijas que se desplazan de sitios cercanos, incrementando su densidad poblacional (Aldape-López y Santos-Moreno, 2016). Si bien estos dos grupos se han documentado en conjunto, tanto los anfibios como los reptiles pueden diferir en gran magnitud en cuanto a la respuesta a los cambios de la cobertura vegetal (Gardner *et al.* 2007).

En comparación con los reptiles, los anfibios requieren una mayor humedad ambiental, ya que es determinante en el intercambio de gases, además, permite el crecimiento de organismos simbioses que cumplen una función inmunológica (Palmeirim *et al.* 2017). La historia de vida de algunos anfibios requiere tanto de hábitats acuáticos como terrestres en diferentes etapas de su desarrollo, en particular durante las primeras etapas de vida, ya que brinda protección a sus huevos anamniotas (Vitt y Caldwell, 2014; Palmeirim *et al.* 2017).

Debido al deterioro ambiental actual del estado de Tlaxcala, es necesario llevar a cabo 1) la evaluación de la riqueza y 2) un análisis de la diversidad que permita conocer la distribución precisa de anfibios y reptiles, con el fin de promover su estudio y conservación. Esto mediante el uso de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Jorge-Lara, 2013), un instrumento útil para realizar los análisis espaciales, gracias a la capacidad que brindan para procesar e integrar grandes cantidades de información georreferenciada (Palacio, 2017), apoyando así en el proceso de planeación, conservación y uso de la biodiversidad (Aguilar *et al.* 2009).

En el presente trabajo se llevó a cabo la recopilación de datos sobre la distribución de anfibios y reptiles dentro del estado de Tlaxcala mediante muestreos intensivos, obtención de información a partir de múltiples fuentes y haciendo uso de los sistemas de información geográfica con el objetivo de realizar un análisis de la riqueza y la diversidad de anfibios y reptiles de Tlaxcala en función del tipo de vegetación y uso de suelo. El conocimiento generado en esta investigación sobre la distribución espacial de estos grupos de vertebrados busca sentar las bases para futuros trabajos de ecología y conservación en uno de los estados con mayor deterioro ambiental dentro del país.

### **Antecedentes**

Existen pocas recopilaciones sobre la riqueza y diversidad de especies de anfibios y reptiles en



el estado de Tlaxcala, se han detectado inconsistencias que han sido replicadas a través del tiempo (e. g. Ramírez-Bautista *et al.* 2009) y no se cuenta con un análisis de diversidad formal sobre estos dos grupos de vertebrados que contemple a los diferentes tipos de vegetación y el uso de suelo de la entidad.

El primer acercamiento a la riqueza y diversidad total de anfibios y reptiles de Tlaxcala comenzó con Sánchez-Herrera (1980), quien enlista 32 especies, 11 son anfibios y 21 son reptiles. En este trabajo se destaca el esfuerzo de muestreo durante un año y la inclusión de mapas de incidencia de ambos grupos en los diferentes tipos de vegetación de la entidad. Años más tarde, Flores-Villela y Gerez (1994), en una compilación sobre la biodiversidad de México, incluyen una lista de los anfibios y reptiles de Tlaxcala en donde se reportan un total de 34 especies, nueve son anfibios y 25 son reptiles. Por otra parte, Ochoa-Ochoa y Flores Villela (2006), llevan a cabo una documentación bibliográfica de áreas de diversidad y endemismos de la herpetofauna mexicana, en la cual se mencionan de manera puntual 44 especies de anfibios y reptiles para el estado de Tlaxcala, destacando que es uno de los estados del país con menos registros y menor número de especies, no obstante, no se presenta una lista taxonómica ni se especifica cuantas de estas especies pertenecen a anfibios o reptiles.

Posteriormente, Fernández *et al.* (2006a), realizan un inventario para el estado de Tlaxcala mediante la integración de información proveniente de muestreos y de colecciones científicas, en el cual registran 55 especies totales, 20 anfibios y 35 reptiles, incrementando así el número de especies conocidas hasta ese momento para el estado. En ese mismo año Fernández *et al.* (2006b) adicionan cuatro especies de anfibios y cinco de reptiles para el estado.

En años más recientes, únicamente se ha mencionado a los anfibios y reptiles del estado de Tlaxcala en recopilaciones bibliográficas a nivel nacional. Tal es el caso de Flores-Villela y García Vázquez (2014) quienes mencionan a Tlaxcala como el estado con menor diversidad de reptiles del país con 31 especies, mientras que, Parra-Olea *et al.* (2014) sitúan al estado de Tlaxcala por encima de Baja California Sur, Zacatecas, Aguascalientes y Guanajuato con 16 especies de anfibios. Cabe mencionar que en estas recopilaciones únicamente hacen referencia al número total de especies, no así de los epítetos específicos.

Problema de investigación:

Se desconoce la riqueza y la diversidad de los anfibios y los reptiles que habitan en los diferentes tipos de vegetación y uso de suelo del estado de Tlaxcala.

Preguntas de investigación:

¿Cuál es la riqueza de anfibios y reptiles en el estado de Tlaxcala?

¿Cuál es la diversidad de anfibios y reptiles en los diferentes tipos de vegetación y el uso de suelo del estado de Tlaxcala?

### **Hipótesis**

Hipótesis 1

La diversidad de anfibios disminuye en sitios con cambio de uso de suelo.

Predicción

Habrará una mayor riqueza de especies de anfibios en hábitats con tipos de vegetación nativa.

Hipótesis 2

El cambio de uso de suelo genera mayor diversidad de reptiles.

Predicción

Los sitios con uso agrícola tendrán mayor riqueza de especies de reptiles.

### **Objetivos**

•General:

- ✓ Analizar la diversidad de anfibios y reptiles de Tlaxcala en función del tipo de vegetación y el uso de suelo con base en múltiples índices de diversidad.

•Particulares:

- ✓ Elaborar una lista taxonómica de los anfibios y reptiles del estado de Tlaxcala con base en los registros obtenidos de literatura, colecciones científicas y muestreos directos.
- ✓ Determinar la riqueza potencial de anfibios y reptiles del estado de Tlaxcala a través de curvas de acumulación de especies.

- ✓ Evaluar la riqueza y diversidad de anfibios y reptiles entre los diferentes tipos de vegetación y uso de suelo del estado de Tlaxcala.
- ✓ Proponer una nueva aproximación del uso de la diversidad  $\beta$  entre los tipos de vegetación y uso de suelo del estado de Tlaxcala con fines de conservación.
- ✓ Conocer la distribución de las especies de anfibios y reptiles en los diferentes tipos de vegetación y uso de suelo dentro del estado de Tlaxcala.

## Material y métodos

### Área de estudio

El estado de Tlaxcala se localiza en la parte Centro-Oriente del país, con las siguientes coordenadas geográficas extremas al norte  $19^{\circ}43'44''$ , al sur  $19^{\circ}06'18''$  de latitud norte; al este  $97^{\circ}37'32''$  al oeste  $98^{\circ}42'30''$  de longitud oeste (INEGI, 2021). Se encuentra en las tierras altas de la Faja Volcánica Transmexicana, sobre la meseta del Anáhuac, a una elevación que va de los 2200 a los 4405 m s.n.m. (INEGI, 2007; Fig. 1). Es la entidad más pequeña del país, con una superficie de 4,060.923 km<sup>2</sup>, limita al sur, este y norte con el estado de Puebla, al noroeste con Hidalgo y al poniente con el estado de México, posee clima templado-húmedo y una precipitación media anual de 711 mm (Damián-Huato *et al.* 2010).

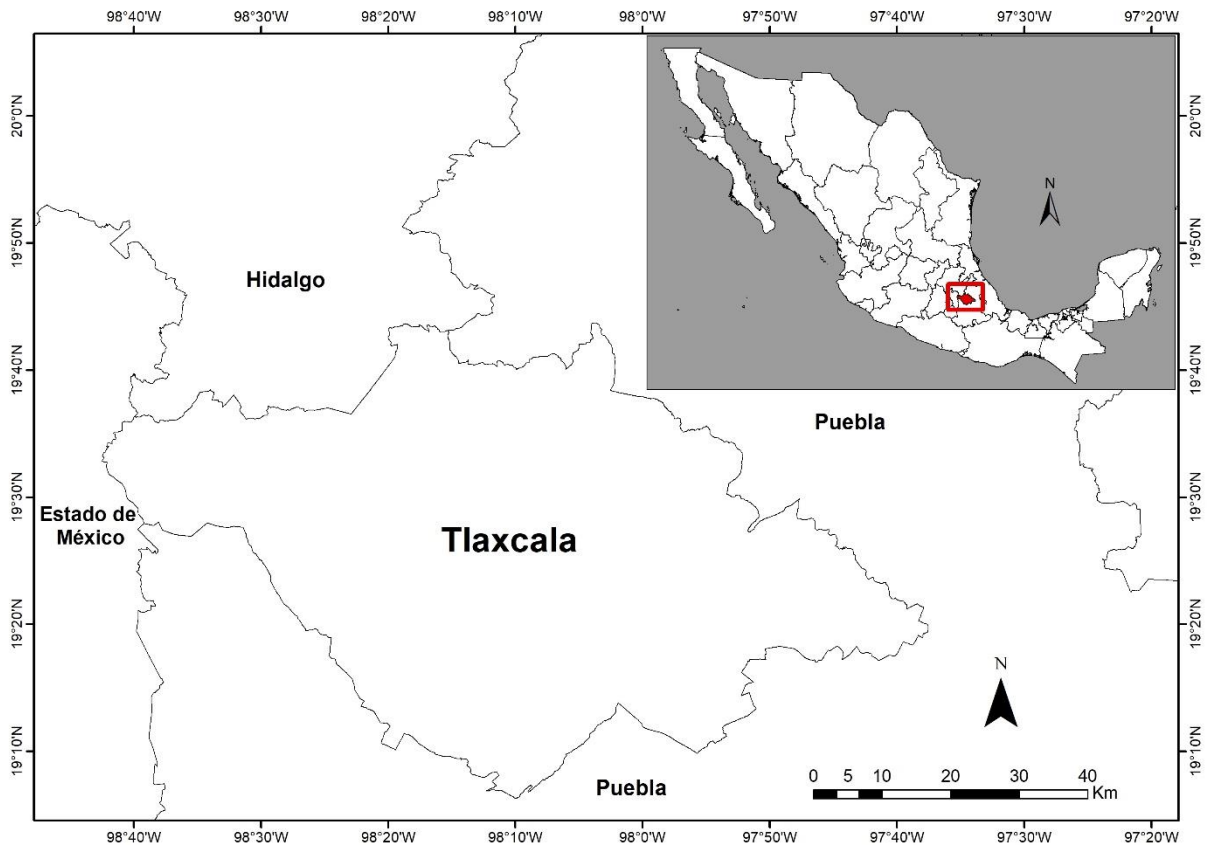


Figura 1. Ubicación geográfica del estado de Tlaxcala.

### Ecorregiones

El estado de Tlaxcala se sitúa en tres ecorregiones: la porción este se encuentra inmersa en la ecorregión de Matorrales Xerófilos del Valle de Tehuacán (MXVT) en donde predomina el matorral xerófilo, arenales y chaparral. La ecorregión de Matorrales Xerófilos del sur de la Meseta Central (MXMC) abarca la porción noroeste, principalmente en los municipios de Atlangatepec, Hueyotlipan y Sanctorum, esta se caracteriza por la presencia de matorral xerófilo y de chaparral. Por último, aunque disminuidos a través de los años, se encuentran los bosques de oyamel, de pino, de encino, de pino-encino y algunas otras asociaciones inmersas en la ecorregión de los Bosques de Coníferas y Encinos del Sistema Volcánico Transversal (BCE), localizada principalmente en las regiones del sureste, norte y noroeste del estado (Fernández *et al.* 2007).

### Tipos de vegetación

Los tipos de vegetación predominante en el estado de Tlaxcala son los bosques de *Pinus*, se calcula que abarcan el 5.43% del territorio estatal y están distribuidos principalmente en las regiones montañosas de la sierra de Tlaxco, Nanacamilpa, El Carmen Tequexquitla y el volcán “La Malinche”, se encuentran en elevaciones a partir de los 2200 m s.n.m. y pueden sobrepasar los 4000 m s.n.m. Aunque predominan las especies del género *Pinus*, pero existen asociaciones con los géneros *Arbutus*, *Alnus*, *Quercus* y *Abies*. Los bosques de *Abies* cubren aproximadamente el 2% del estado, en donde las áreas con mayor extensión se sitúan en la sierra de Tlaxco, “La Malinche” y Nanacamilpa, su distribución alcanza los 3810 m s.n.m. El estrato arbóreo está constituido por la especie *Abies religiosa* y en algunas zonas se mezclan con especies del género *Pinus*, *Quercus* y *Cupressus*. Los bosques de *Quercus* cubren el 2.1% del estado y su presencia se restringe a los municipios de Nanacamilpa, Atotonilco, Españita, Terrenate y Tlaxco y, por último, al volcán “La Malinche” en elevaciones de 2500 a 3100 m s.n.m., las especies más representativas son *Quercus crassipes*, *Q. rugosa*, *Q. laurina* y *Q. crassifolia*, pero con regularidad se encuentran también algunas especies de *Pinus*, *Alnus*, *Arbutus* y *Juniperus*. Los bosques de *Juniperus* (2.4%) están localizados en el centro del estado en los municipios de Apizaco, Huamantla, Tlaxcala, El Carmen Tequexquitla, Terrenate y Españita a elevaciones entre los 2560 y 2680 m s.n.m., su composición arbórea

está dominada por *Juniperus deppeana*, pero se conocen áreas en la sierra de Tlaxco con la presencia de *Juniperus monticola*. El Pastizal inducido (6.3%) se encuentra en elevaciones entre 2250 y 2800 m s.n.m., cubre el centro del estado y es el resultado de tala del estrato arbóreo y el abandono de campos de cultivo por lo que predominan especies de gramíneas como *Bouteloua gracilis*, *Hilaria cenchroides* y *Cynodon dactylon*. La pradera de alta montaña se encuentra por encima de los 4000 m s.n.m., por arriba del límite de la vegetación arbórea y cubre apenas el 0.1% de la entidad estatal, por lo que su distribución se restringe al volcán “La Malinche” en donde predominan gramíneas amacolladas como *Agrostis tolucensis*, *Calamagrostis tolucensis* y *Festuca tolucensis*. El matorral xerófilo (0.1%) está localizado en las regiones áridas de Tlaxcala entre los 2320 y 2600 m s.n.m. con mayor presencia en los municipios de El Carmen Tequexquitla, Alzayanca, Terrenate y Nanacamilpa, aunque es posible encontrar pequeñas porciones secundarias en los valles del centro del estado, se encuentran bien representadas especies de los géneros *Yucca*, *Nolina*, *Agave* y *Opuntia*. Por último, la vegetación acuática y subacuática se restringen a regiones con pequeños arroyos temporales embalses y encharcamientos, por lo que su distribución cubre apenas el 0.4% de Tlaxcala. Este hábitat se encuentra principalmente en la laguna de Atlangatepec en el municipio de Tlaxco, en la laguna de Acuitlapilco y la laguna de El Carmen Tequexquitla, donde habitan monocotiledóneas como *Typha latifolia*, *Eleocharis montevidensis* y plantas flotantes como *Nymphoides fallax*, *Potamogeton nodosus* y *Ranunculus trichophyllus* (Castillejos-Cruz, 1992, Cuevas, 2004; López-Domínguez *et al.* 2005; Fernández *et al.* 2007).

### **Recopilación de datos**

La obtención de la información utilizada en esta investigación constó de dos etapas, durante las cuales la identidad de los taxones se consideró a nivel específico.

Primera etapa: Se realizó una búsqueda bibliográfica exhaustiva con registros formales de anfibios y reptiles del estado de Tlaxcala. Posteriormente, se llevó a cabo una revisión en literatura especializada para actualizar o corregir el epíteto específico de cada registro. Una vez corroborados y actualizados, los registros se integraron en una base de datos para su posterior análisis.

Se realizó la solicitud de bases de datos con registros de anfibios y reptiles del estado

de Tlaxcala a diferentes instituciones y colecciones científicas nacionales e internacionales. Así mismo, se efectuó una búsqueda de bases de datos con registros de los anfibios y reptiles de Tlaxcala en diferentes plataformas con servicio de descarga y, por último, se realizó el proyecto “Anfibios y Reptiles de Tlaxcala” dentro de la plataforma “NaturaLista.Mx” (2021) para albergar y recopilar todos los registros provenientes de ciencia ciudadana. Todos los registros obtenidos de esta primera etapa fueron compilados en una sola base de datos, la cual pasó por una serie de revisiones que se definieron como filtros que se detallan a continuación.

En el primer filtro se eliminaron los registros: duplicados, sin epíteto específico, fecha o año de referencia, aquellos sin coordenadas geográficas, con información incompleta o ilógica (e. g. aquellos que cayeron en el mar o cuya latitud y longitud se encontraron fuera de los valores de referencia 0° y 90° N; 0° y -180° O) y cuyos metadatos no proporcionaron información suficiente para una adecuada georreferenciación (e. g. localidad de colecta).

Segundo filtro: las bases de datos con los registros georreferenciados se proyectaron sobre un mapa del estado de Tlaxcala en el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcMap 10.8. Se utilizaron las capas de estados, municipios, localidades rurales y urbanas, carreteras, hidrología e imágenes satelitales del marco geoestadístico de INEGI escala 1:4 000 000 del estado de Tlaxcala. Los registros que se ubicaron fuera de la delimitación estatal fueron retirados para su posterior revisión detallada, para evaluar si contenían información errónea. Posteriormente, haciendo uso de estas mismas capas, se georreferenciaron los registros que no contenían coordenadas mediante la localidad específica en la cual fue colectado el ejemplar. Los registros con datos insuficientes fueron eliminados.

Tercer filtro: después de que se obtuvo la base de datos limpia, se llevó a cabo una revisión bibliográfica en la literatura especializada para corroborar o descartar la distribución de la especie en el estado, mediante los siguientes criterios de inclusión: Distribución documentada de manera formal en investigaciones previas, tipo de vegetación en donde se ha documentado a la especie, intervalo de elevación previamente descrito, aspectos fisiológicos del organismo, procedencia del registro (organismos en colección y/o en bases de datos), así como posibles cambios taxonómicos a través del tiempo para descartar datos erróneos. Una vez corregidos y actualizados los registros mediante la revisión bibliográfica, se elaboró una lista de las especies siguiendo el arreglo taxonómico de acuerdo con los portales de Amphibia

Web (2021) y The Reptile Data Base (2021).

Cuarto filtro: por último, se solicitó el acceso a las diferentes colecciones de anfibios y reptiles del país con la finalidad de revisar a los ejemplares, corroborando así, la identidad y presencia de las especies en el estado. Los ejemplares fueron fotografiados e identificados a través de claves especializadas para cada grupo. Por otra parte, para los registros procedentes de colecciones internacionales, se realizó la solicitud de fotografías de los ejemplares a cada una de las instituciones para corroborar la veracidad de la información.

Segunda etapa: se realizaron un total de 14 muestreos exhaustivos en diferentes zonas de Tlaxcala, de noviembre de 2019 a abril de 2022, con el fin de cubrir las temporadas de lluvias y secas. Los muestreos cortos tuvieron una duración de 1 a 6 días, donde se mantuvo un número constante de 4 a 5 personas y un esfuerzo de muestreo de 10 horas por hombre. Los muestreos largos tuvieron una duración de 12 días, manteniendo constantemente cinco integrantes y un esfuerzo de muestreo de 10 horas por hombre. Ambos tipos de muestreo se llevaron a cabo en dos horarios (diurno y nocturno), de 10:00 a 15:00 y de 18:00 a 23:00 horas, para poder observar y capturar la mayor cantidad de organismos activos. Los muestreos y colectas se enfocaron en sitios carentes de registros, sitios con registros únicos, así como en localidades con registros de especies documentadas en las diferentes colecciones científicas, en literatura especializada o bases de datos cuya presencia en el estado de Tlaxcala resultaba incierta debido a discordancias con la literatura consultada en los filtros mencionados con anterioridad. Los muestreos se llevaron a cabo con la técnica de colecta oportunista, esta técnica permite la búsqueda intensiva de organismos bajo condiciones particulares (Aguirre-León, 2011; Cruz-Aviña *et al.* 2020). Por ejemplo, durante diferentes horas del día, estaciones del año o condiciones climáticas, además de una revisión minuciosa de los diferentes microhábitats que favorezcan la presencia de organismos, obteniendo un mayor número de registros en un menor tiempo.

### **Muestreo y captura de organismos**

Durante el muestreo, la captura se llevó a cabo utilizando las técnicas descritas por Casas-Andreu *et al.* (1991). Fueron empleadas redes de mango largo y colecta manual para atrapar a los anfibios, mientras que las lagartijas se capturaron manualmente y con cañas de pescar con un nudo corredizo en la punta. Para las serpientes, tanto inofensivas como venenosas se



utilizaron guantes de carnaza, ganchos herpetológicos y tubos de acrílico para la contención de las especies de importancia médica. Durante los muestreos nocturnos se usaron lámparas. Cada organismo fue fotografiado para obtener referencias sobre la coloración en vida e identificados hasta nivel de especie mediante literatura especializada y claves dicotómicas. Los organismos que no pudieron ser identificados en el momento fueron trasladados en sacos de tela o contenedores al Laboratorio de Ecofisiología y Diversidad de Anfibios y Reptiles del Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta de la Universidad Autónoma de Tlaxcala para su identificación. Después de ser identificados a nivel específico, se liberaron en la misma zona donde fueron capturados.

Cuando fue necesario, los organismos fueron colectados bajo la autorización de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SGPA/DGVS/07931/21 y SGPA/DGVS/03937/21) y sacrificados administrando Pentobarbital sódico por medio de una inyección intracardiaca. La fijación de los ejemplares se llevó a cabo inyectando formalina (formol diluido al 10%) en múltiples partes del cuerpo, posteriormente se ingresaron a cámaras húmedas durante cinco días. A continuación, se enjuagaron realizando lavados con agua en periodos de seis horas durante tres días. Por último, fueron preservados en frascos de vidrio con alcohol al 70% (Casas-Andreu *et al.* 1991). Los ejemplares colectados fueron ingresados a la Colección de Anfibios y Reptiles de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

Para cada organismo se registraron los siguientes datos: número de registro, nombre de la especie, fecha, localidad, Estado, Municipio, coordenadas geográficas, elevación y hábitat (tipo de vegetación).

### **Análisis de datos**

#### Diversidad alfa ( $\alpha$ )

Se realizó un análisis de diversidad alfa ( $\alpha$ ), haciendo uso de la riqueza de especies (S), el cual se basa únicamente en el número de especies presentes en un área determinada sin tomar en cuenta su valor de importancia (abundancia, biomasa, etc.) ya que, al incluir registros en bases de datos y literatura, no contamos con abundancias de cada especie que permitan usar un método basado en la estructura de la comunidad (Moreno, 2001).

Una vez integrada toda la información se elaboraron dos listas taxonómicas, una para anfibios y otra para reptiles del estado de Tlaxcala, incluyendo la información referente a la

endemidad y a las categorías de protección disponibles en literatura especializada, en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-SEMARNAT-2010, la IUCN-2022 y en las Medidas de Vulnerabilidad Ambiental (EVS, Wilson *et al.* 2013a, 2013b).

#### Curvas de acumulación

Con la finalidad de conocer la riqueza potencial de las especies de anfibios y reptiles en el estado de Tlaxcala se elaboraron curvas de acumulación de especies con base en el año de colecta de cada uno de los registros obtenidos de las múltiples fuentes de información. Para fines prácticos de la investigación, los registros se agruparon de manera ascendente en intervalos de siete años, una vez obtenida la matriz, las curvas fueron realizadas con ayuda del software libre Past (Hammer *et al.* 2001). Con la finalidad de conocer la completitud del estudio, es decir, si se había alcanzado el número de especies posibles presentes en el estado de Tlaxcala, las curvas fueron ajustadas con el estimador no paramétrico Chao 2, el cual se basa únicamente en la incidencia de una especie en una muestra dada, es decir, si se encuentra presente o ausente en una muestra y cuántas veces se repite en las diferentes muestras que componen el estudio (Escalante, 2003; González-Oreja, 2010).

$$\text{Chao2} = S + \frac{L^2}{2M}$$

Donde:

S= número total de especies.

L = número de especies que se encuentran solamente en una muestra (especies “únicas”).

M = número de especies que se encuentran en exactamente dos muestras.

#### Diversidad beta ( $\beta$ )

Para evaluar el tipo de vegetación y uso de suelo que contaba con la mayor diversidad, se elaboró un análisis de diversidad beta ( $\beta$ ), la cual se define como “la magnitud de cambio en la composición taxonómica de las comunidades o el grado de diferenciación entre comunidades, con relación a un gradiente ambiental complejo o con patrones ambientales” (Calderón-Patrón y Moreno, 2019).

Debido a que la mayoría de las bases de datos obtenidas no presentaron información

sobre el tipo de vegetación en que se colectó a los ejemplares, se obtuvieron las capas vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación, escala 1:250.000-Serie III (2002), IV (2007), V (2011) y VI (2014) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y se proyectaron únicamente para el estado de Tlaxcala mediante el marco geoestadístico de INEGI escala 1:4 000 000 utilizando el software ArcMap, 10.8. Para el estado de Tlaxcala se obtuvieron 34 categorías de vegetación y el uso de suelo, las cuales se reclasificaron y se obtuvieron 12 categorías de vegetación y uso de suelo (Acuático, Agricultura, Bosque de Encino, Bosque de Pino-Encino, Bosque de Oyamel, Bosque de Pino, Bosque de Táscate, Matorral Xerófilo, Pastizal Inducido, Pradera de Alta Montaña, Suelo Desnudo y Urbano).

Posteriormente, con la finalidad de tener un análisis de diversidad de anfibios y reptiles actualizado, en el que la información espacial y los registros de las especies fueran compatibles temporalmente, se consideraron las series de capas vectoriales de uso de Suelo y Vegetación III, IV, V y VI y los registros del periodo 2002 – 2022, ordenándolos por grupo taxonómico en cuatro periodos:

- Serie III- Registros geográficos de especies del 2002 al 2006
- Serie IV- Registros geográficos de especies del 2007 al 2010
- Serie V- Registros geográficos de especies del 2011 al 2013
- Serie VI- Registros geográficos de especies del 2014 al 2022

Consecutivamente se generaron tablas de atributos extrayendo para cada registro el tipo de uso de suelo de suelo o vegetación presente en ese periodo. Si bien, el uso de las capas de uso de suelo y vegetación de INEGI (Series III, IV, V y VI) permitió obtener información sobre el tipo de vegetación en el cual fue colectado cada ejemplar, debido a la escala (1:250,000) algunos sitios de colecta no correspondieron con la descripción de la vegetación proporcionada por el colector y esto pudo deberse a que los fragmentos de vegetación eran pequeños y por la escala de las capas de INEGI quedaron inmersos dentro de otras categorías. Por ende, se utilizó una segunda aproximación con una mayor escala haciendo uso de la capa *ráster* del sistema MAD-Mex (Monitoring Activity Data for the Mexican REDD+ program) del estado de Tlaxcala basada en el mapa nacional de referencia, cobertura de suelo, 1:20,000 (INEGI,

CONAFOR, CONABIO, SEMARNAT, 2017). Con esta última capa, se realizó una unión de atributos por localización de cada ejemplar con las bases de datos generadas en el procedimiento anterior, de esta manera se obtuvo el hábitat correspondiente con la coordenada geográfica de cada registro con una mayor escala.

La metodología anterior permitió obtener tres fuentes de información para determinar el hábitat correspondiente con cada registro. 1) El hábitat documentado por el colector en campo (cuando los metadatos contaron con esta información), 2) el hábitat de acuerdo con las series de INEGI y 3) el hábitat de acuerdo con las capas de MAD-Mex. Con esta información se seleccionó el hábitat que correspondía a cada registro con base en los siguientes criterios:

- 1- Los registros que contaron con el hábitat documentado en campo permanecieron de la misma manera, dando mayor peso a la información recopilada por el colector.
- 2- Cuando el registro careció del hábitat registrado en campo, se tomó en cuenta la información proveniente de las series INEGI y MAD-Mex:
  - a) Si ambas columnas coincidieron, el registro del hábitat fue el mismo.
  - b) Cuando el hábitat difirió en ambas columnas, se dio prioridad a la capa con mayor afinidad temporal al registro de la especie.
  - c) Cuando el registro ocurrió entre el 2002 y 2016 se colocó el hábitat de la serie correspondiente del INEGI.
  - d) Cuando el registro ocurrió entre el 2017 y 2022 se colocó el hábitat obtenido de las capas MAD-Mex ya que estas capas fueron creadas en el año 2017, siendo las más actualizadas y con mayor resolución.
- 3- Debido a la escala de los mapas del INEGI (1:250,000), en algunos casos los hábitats albergaron áreas (parches) de otras categorías. Para disminuir este error, se dio mayor prioridad a la información obtenida a través de MAD-Mex (1:20,000). Es pertinente mencionar que su uso como una herramienta complementaria de las diferentes series de Uso de suelo y vegetación de INEGI radicó en la toma de decisiones debido a su alta resolución, cuando:
  - a) Las condiciones ambientales de algunos hábitats como la temperatura o humedad relativa limitan el establecimiento de poblaciones de especies con requerimientos fisiológicos específicos. Por ejemplo, cuando los registros de algunas especies de

salamandras fueron vinculados a campos agrícolas o zonas urbanas.

- b) Cuando ambas columnas difirieron, INEGI=Urbano y MAD-MEX=Agricultura puesto que, es más probable la transformación de un campo agrícola a una zona urbana que la transformación de una zona urbana a campos agrícolas.

### Análisis de la diversidad $\beta$

Se evaluó la disimilitud de los diferentes hábitats de anfibios y reptiles de Tlaxcala con base en el índice de disimilitud de Jaccard ( $\beta_{jac}$ ) y siguiendo el procedimiento propuesto por Baselga (2012), el cual permite calcular la proporción de especies que son sustituidas entre dos o más comunidades como consecuencia del arreglo espacial o de restricciones espaciales y/o históricas, definida como “Tasa de Recambio ( $\beta_{jtu}$ )” y el “Anidamiento ( $\beta_{jne}$ )”, definido como la disimilitud entre comunidades ocasionada por la diferencia en la riqueza de especies (Calderón-Patrón y Moreno, 2019).

El análisis fue realizado utilizando el software R 4.05 (R Development Core Team, 2008) con el paquete 'betapart' (Baselga y Orme, 2012). El índice de disimilitud de Jaccard va de “0”, cuando los sitios comparten todas las especies, hasta “1”, cuando no se comparten especies entre las comunidades y es expresado en porcentaje para facilitar su interpretación.

### Índice de disimilitud de Jaccard

$$\beta_{jac} = \frac{b + c}{a + b + c}$$

### Tasa de Recambio

$$\beta_{jtu} = 2 \times \frac{\min(b, c)}{a + 2\min(b, c)}$$

### Anidamiento

$$\beta_{jne} = \frac{|b - c|}{a + b + c} \times \frac{a}{a + 2\min(b, c)}$$

Donde:

a= Número de especies compartidas entre los sitios A y B.

b= Número de especies exclusivas en el sitio A.

c= Número de especies exclusivas en el sitio B.

De acuerdo con Baselga (2012) en ausencia de anidamiento, es decir, si no existieran diferencias de riqueza de especies entre comunidades,  $\beta_{jac}$  es igual a  $\beta_{jtu}$ , puesto que toda la disimilitud entre comunidades estaría dada por la tasa de recambio, mientras que en comunidades anidadas la substracción  $\beta_{nes} = \beta_{jac} - \beta_{jtu}$  aporta a la disimilitud de Jaccard la proporción de la disimilitud que estaría dada por las diferencias en riqueza.

Este índice funcionó de manera adecuada en comparaciones pareadas, el resultado nos dio un primer acercamiento sobre la proporción de la disimilitud entre las comunidades comparadas, que está dada por recambio y anidamiento. Sin embargo, el índice no profundiza sobre la contribución a la disimilitud de cada una de las comunidades, es decir, no especifica que comunidad está contribuyendo de manera más importante a dicha disimilitud, lo que complica la toma de decisiones en términos de conservación cuando se comparan múltiples comunidades.

Desde el punto de vista de la biología de la conservación, al comparar más de dos sitios, el resultado de este índice implicaría conservar el par de sitios con una mayor disimilitud y tasa de recambio. Esto debido a que, en teoría, se tendría el máximo de especies que no se comparten con otros sitios (Baselga y Gómez-Rodríguez, 2019; Calderón-Patrón y Moreno, 2019). No obstante, comunidades sin especies compartidas, podrían mostrar el valor más alto de disimilitud y recambio (valor de 1 cuando no se comparte ninguna especie entre las comunidades), aún con una baja riqueza, subestimando a las comunidades que albergan un mayor número de especies, pero con una porción de estas especies compartidas.

Por esta razón, se proponen a continuación dos aproximaciones diferentes de la diversidad  $\beta$  enfocadas principalmente en priorizar la conservación de aquellos tipos de vegetación nativa que albergan la mayor diversidad de especies de anfibios y reptiles en uno de los estados mayor deterioro ambiental. Por tal motivo, en ambas propuestas se excluyeron del análisis a los hábitats “Agricultura” y “Urbano”, así como los hábitats sin ningún registro de anfibios o reptiles y las especies invasoras.

La primera aproximación está basada en el procedimiento propuesto por Baselga (2012), donde se pondera a la comunidad con menor riqueza de especies, puesto que, cuando se habla de recambio entre dos sitios, el número máximo de especies que pueden ser remplazadas está dado por aquel sitio más pobre (Baselga, 2012; Calderón-Patrón y Moreno, 2019).

Para desarrollar esta propuesta, se ejemplifica una situación con un par de sitios hipotéticos. El sitio A tiene cuatro especies (b=dos de ellas exclusivas), el sitio B tiene 16 especies (c= 14 especies exclusivas) y ambos sitios comparten dos especies (a=2). A pesar de la diferencia en la riqueza de especies, el número máximo de especies que pueden ser reemplazadas, son las dos especies exclusivas del sitio A por dos especies del sitio B.

Disimilitud de Jaccard :  $\beta_{jac}=(b+c) / (a+b+c)$

$$\beta_{jac}=(2+14) / (2+2+14)=0.88$$

La disimilitud total entre ambos sitios es de 0.88, lo que significa que las 16 especies no compartidas representan el 88.88% de las 18 especies totales. La proporción de esta disimilitud causada por el recambio es:

Disimilitud por recambio:  $\beta_{jtu}= 2*[\min(b,c) / (a+2*\min(b,c))]$

$$\beta_{jtu}= 2*[2 / (2+2*2)]=0.66$$

Es decir, que de la disimilitud total (88.88%), el 66.66% corresponde con el remplazo de las dos especies del sitio A por las dos especies del sitio B. Si se considera que cada una de las comunidades contribuye con el mismo número de especies al recambio total, entonces cada comunidad contribuye con el 50% de la disimilitud por recambio, por lo que el 33% (dos especies exclusivas) es aportado por el sitio A y el otro 33% (dos especies exclusivas) por el sitio B. Ahora bien, la contribución de la diferencia en riqueza de especies entre los dos sitios es:

Disimilitud por diferencia en riqueza:  $\beta_{jne}= [(b-c)/a+b+c]*[a/(a+2*\min(b,c))]$

$$\beta_{jne}=[12/18]*[2 / (2+(2*2))] = 0.22$$

Por ende, de la disimilitud total, el 22.22% corresponde con la diferencia en riqueza entre ambos sitios. El paso por seguir, si se quisiera tomar una decisión en términos de conservación de acuerdo con Baselga y Gómez-Rodríguez (2019) y Calderón-Patrón y Moreno (2019), sería elegir la comunidad con la mayor riqueza y el mayor número de especies exclusivas (en nuestro ejemplo el sitio B). No obstante, este procedimiento subestima el valor de importancia de la contribución del sitio con la menor riqueza de especies a la diversidad  $\beta$  que, si bien, presenta un menor número de especies, podría estar aportando especies exclusivas que se excluirían de la protección en una toma de decisiones bajo los argumentos de la aproximación anterior.

Para evitar este sesgo, se propuso la adición de la proporción del anidamiento a la proporción real de recambio aportado por la comunidad con la mayor riqueza de especies, de esta manera se obtuvo la contribución real de cada comunidad a la diversidad  $\beta$ . Por lo tanto, la comunidad más pobre en especies permanece únicamente con su contribución al recambio o con un valor de cero cuando carece de especies exclusivas. El valor resultante de esta operación se definió como Índice de Contribución a la Diversidad  $\beta$  (en adelante  $\text{ICD-}\beta$ ) y se calcula de la siguiente manera:

Sitio con menor riqueza de especies

$$\text{ICD-}\beta_A = (\beta_j t_u / 2)$$

$$\text{ICD-}\beta_A = (0.66 / 2) = 0.33$$

Sitio con mayor riqueza de especies

$$\text{ICD-}\beta_B = (\beta_j t_u / 2) + \beta_j n_e$$

$$\text{ICD-}\beta_B = (0.66 / 2) + 0.22 = 0.55$$

De manera que, del 88.88% de la disimilitud total, el 55.55% correspondió con la contribución de la diferencia en riqueza y proporción de recambio del sitio B. Es decir, que las dos especies exclusivas que intervienen en el recambio por parte del sitio B más la diferencia en riqueza de las especies del mismo sitio (12 especies exclusivas) constituyeron el 55.55% de la disimilitud total entre el sitio A y B. Por otra parte, la contribución a la diversidad  $\beta$  del sitio



más pobre se debe únicamente a las dos especies exclusivas que intervinieron en el recambio.

Si fuera necesario tomar una decisión sobre cuál de los dos sitios conservar, el sitio B sería el indicado, puesto que su valor de contribución a la diversidad  $\beta$  (recambio y diferencia en riqueza) es mayor al de la comunidad A. De esta manera, la aproximación propuesta brinda de manera directa un valor con el cual es posible tomar la decisión sobre qué sitio es prioritario para la conservación.

Además, otra ventaja de utilizar esta aproximación surge cuando las comparaciones se llevan a cabo entre más de dos sitios. Esto se debe a que todos los  $\text{ÍCD-}\beta$  obtenidos en cada una de las interacciones pareadas pueden ser promediados consiguiendo un valor que representa la contribución real tanto en especies exclusivas como en diferencia de riqueza de cada uno de los sitios a la diversidad  $\beta$  y, por ende, que puede ser utilizado para decidir el valor de importancia en términos de conservación de aquellos sitios que albergaron el máximo de especies que no se compartieron con otros sitios y el mayor número de especies (el desarrollo de este procedimiento se encuentra ejemplificado con un caso hipotético de múltiples sitios en el Anexo 1).

La segunda aproximación se basa en un promedio de vulnerabilidad de las especies calculado a partir de su categoría en la Lista roja de las especies (IUCN), la Norma Oficial Mexicana-059-SEMARNAT 2010 y el Valor de Vulnerabilidad Ambiental (EVS, Wilson *et al.* 2013a, 2013b).

Se otorgó un valor único a cada categoría que conforma a cada una de las medidas de vulnerabilidad mencionadas anteriormente (Cuadro 1), la categoría más baja recibió el valor de uno y las siguientes categorías recibieron valores más altos sucesivamente.

Cuadro 1. Puntuación de las medidas de vulnerabilidad para el cálculo de  $\text{ÍCPD-}\beta$ . Environmental Vulnerability Score (EVS), International Union for the Conservation of Nature (IUCN), Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

Medida de vulnerabilidad	Categoría	Abreviatura	Puntuación
EVS	Bajo	L	1
	Medio	M	2

	Alto	H	3
IUCN	Preocupación menor	LC	1
	Casi amenazada	NT	2
	Vulnerable	VU	3
	En peligro de extinción	EN	4
	En peligro crítico	CR	5
NOM-059- SEMARNAT- 2010	No considerada	Nc	1
	Sujetas a protección especial	Pr	2
	Amenazadas	A	3
	En peligro de extinción	P	4

Posteriormente, se promedian las puntuaciones de cada una de las medidas de vulnerabilidad de cada una de las especies involucradas en el estudio, en adelante se hace referencia a este promedio como “valor ponderado de vulnerabilidad”. Para ejemplificar este procedimiento se utilizó el caso hipotético desarrollado para el cálculo del ÍCD- $\beta$  (Cuadro 2).

Cuadro 2. Promedio de las puntuaciones correspondientes con cada medida de vulnerabilidad de un caso hipotético para ejemplificar el cálculo del ÍCPD- $\beta$ .

Espece	IUNC	NOM-059- SEMARNAT- 2010	EVS	Valor ponderado de vulnerabilidad
Sp 1	2	1	2	1.66
Sp 2	3	1	1	1.66
Sp 3	3	3	2	2.66
Sp 4	1	1	1	1
Sp 5	1	1	2	1.33
Sp 6	3	4	3	3.33

Para ejemplificar el cálculo del Índice de Contribución Ponderado de la Diversidad  $\beta$  se utilizó un caso hipotético con dos comunidades, el Sitio 1 tuvo tres especies mientras que el Sitio 2 presentó cuatro especies (Cuadro 3).

Cuadro 3. Caso hipotético de dos sitios con diferencias en riqueza de especies y promedios de puntuación de las medidas de vulnerabilidad.

Especie	Comunidad A	Comunidad B
Sp 1	1.66	
Sp 2		1.66
Sp 3	2.66	2.66
Sp 4		1
Sp 5		1.33
Sp 6	3.33	

El Índice de Contribución Ponderado de la Diversidad  $\beta$  (ÍCPD- $\beta$ ) se expresa de la siguiente manera:

$$\text{ÍCPD} - \beta = \frac{a}{a + b + c}$$

Dónde:

a=suma de valores ponderados por vulnerabilidad de las especies exclusivas de la comunidad de interés (Comunidad A).

b=suma de valores ponderados por vulnerabilidad de las especies exclusivas de la comunidad con la cual se compara (Comunidad B).

c=suma de valores ponderados por vulnerabilidad de las especies compartidas entre A y B.

Se calculó el ÍCPD- $\beta$  para cada una de las comunidades comparadas.

Comunidad A

$$\text{ÍCPD-}\beta_A = (4.99)/(4.99+3.99+2.66) = \mathbf{0.42}$$

Comunidad B

$$\text{ÍCPD-}\beta_{\text{B}}=(3.99)/(4.99+3.99+2.66)=\mathbf{0.34}$$

Sin bien la comunidad B tuvo una mayor riqueza de especies, el ÍCPD- $\beta$  pondera a las especies exclusivas con un valor más alto de vulnerabilidad, evidenciando la importancia de aquellos sitios con menor riqueza que presentan características muy particulares para el establecimiento de especies con requerimientos muy específicos. Esto cobró mayor relevancia cuando se realizó esta aproximación a la comparación de múltiples sitios, ya que, en términos de conservación, los valores obtenidos en el ÍCPD- $\beta$  representan la vulnerabilidad de la contribución de cada sitio a la diversidad  $\beta$  (el desarrollo de este procedimiento con múltiples sitios se encuentra ejemplificado con un caso hipotético en el Anexo 2).

### **Mapas de incidencia**

Se utilizaron las capas vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación, escala 1:250.000-Serie VI(2014) del INEGI y se proyectaron únicamente para el estado de Tlaxcala utilizando el software ArcMap, 10.8, donde se obtuvieron 12 categorías de tipo de vegetación y uso de suelo. Posteriormente se agregaron los registros geográficos de los anfibios y los reptiles, las 14 especies de anfibios fueron agrupadas en 10 géneros y cada género se representó en un mapa. De igual manera, las especies de reptiles fueron agrupadas en 15 géneros y la representación de cada género se realizó en diferentes mapas cuando el número de registros de un género no permitió apreciar de manera clara la distribución de cada especie en el estado de Tlaxcala.

## **Resultados**

### **Recopilación de datos**

#### Primera parte

Se enviaron solicitudes a 14 colecciones nacionales, de las cuales se obtuvo respuesta únicamente de cinco: la “Colección Nacional de Anfibios y Reptiles” del Instituto de Biología-Universidad Nacional Autónoma de México (CNAR-UNAM), la “Colección Herpetológica del Museo de Zoología Alfonso L. Herrera” (MZFC-UNAM), “Colección Regional de Vertebrados de la Universidad Autónoma de Tlaxcala”, la “Colección de Anfibios y Reptiles de la Benemérita Universidad de Puebla” y la “Colección de Anfibios y Reptiles de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza-UNAM” (MZFZ-UNAM), dando como resultado

519 registros útiles después de la limpieza de datos. Por otra parte, se obtuvieron 34 registros provenientes de la colección ENEPI, propiedad de José Luis Camarillo y depositada recientemente en la CNAR-UNAM.

Aunado a lo anterior, se obtuvieron 580 registros útiles de 17 colecciones científicas nacionales y extranjeras a través de la plataforma de servicio de descarga “Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México” (SNIB-CONABIO) (CONABIO, 2022) y la plataforma Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (López-Vidal *et al.* 2021). Por otro lado, se agregaron 984 registros con grado de investigador provenientes del proyecto de ciencia ciudadana “Anfibios y Reptiles de Tlaxcala” de la base de datos de Naturalista, (Naturalista, 2021).

Finalmente se obtuvieron 565 registros válidos de la base de datos del Laboratorio de Ecofisiología y Diversidad de Anfibios y Reptiles del Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta de la Universidad Autónoma de Tlaxcala. Además, se utilizaron 10 registros de literatura especializada que no estuvieron presentes en ninguna base de datos mencionada anteriormente.

#### Segunda parte.

Se anexaron 736 registros como resultado de 14 muestreos por parte del Laboratorio de Ecofisiología y Diversidad de Anfibios y Reptiles de la Universidad Autónoma de Tlaxcala en 26 localidades que pertenecen a 13 municipios del estado de Tlaxcala. Después de la depuración de las bases de datos se contó con 3428 registros útiles, de los cuales 2155 correspondieron a reptiles y 1273 fueron anfibios.

#### Revisión de ejemplares

Se registraron cuatro especies de reptiles no documentadas con anterioridad para el estado, provenientes de plataformas de ciencia ciudadana y colecciones científicas. La serpiente *Thamnophis melanogaster* (<https://www.naturalista.mx/observations/60922461>; Naturalista, 2021), *Siderolamprus legnotus*(UATX-0175) (Fig. 2), *Abronia graminea* (UATX-0174) (Fig. 3) e *Indotyphlops braminus* (MZFZ-4462; Fig. 4). (Sánchez-Luna *et al.* en prensa, Anexo 6)



Figura 2. Primer registro de la especie *Siderolamprus legnotus* (Campbell y Camarillo, 1994) para el estado de Tlaxcala, el ejemplar se encuentra depositado en la Colección Regional de Vertebrados de la Universidad Autónoma de Tlaxcala (UATX-0948).



Figura 3. Primer registro de la especie *Abronia graminea* (Cope, 1864) para el estado de Tlaxcala, el ejemplar se encuentra depositado en la Colección Regional de Vertebrados de la Universidad Autónoma de Tlaxcala (UATX-0949).



Figura 4. Primer registro de la especie invasora *Indotyphlops braminus* (Daudin, 1803) para el estado de Tlaxcala, el ejemplar fue colectado y depositado por Marina Sánchez Luna en la colección de Anfibios y Reptiles de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza-UNAM (MZFZ-4462).

Como resultado de las revisiones particulares a los ejemplares de las diferentes colecciones nacionales, las fotografías obtenidas de las colecciones internacionales y la revisión en literatura especializada, descartamos la presencia de nueve especies de anfibios y ocho especies de reptiles previamente reportadas para el estado de Tlaxcala. Estas exclusiones de las especies se deben principalmente a las identificaciones erróneas, actualizaciones taxonómicas y deficiencias e inconsistencias en la procedencia de los registros (Cuadros 4 y 5).

Cuadro 4. Procedencia y motivo de exclusión de la lista taxonómica de las especies de la clase Amphibia. Procedencia del registro: 1) Sánchez-Herrera (1980), 2) Flores-Villela y Gerez (1994), 3) Sánchez Aguilar (2005), 4) Fernández *et al.* (2006a), 5) Fernández *et al.* (2006b), 6) Colección nacional, 7) GBIF, 8) Naturalista. Motivo de exclusión: A) Identificaciones erróneas y B) Deficiencias en procedencia del registro.

Anfibios		
Especie	Procedencia del registro	Motivo de exclusión
<i>Anaxyrus punctatus</i>	4,5,6,8	A,B
<i>Scaphiopus couchi</i>	4	A,B
<i>Rheohyla miotympanum</i>	4,8	A,B
<i>Sarcohyla arborescandens</i>	1,2,7	B
<i>Hyla euphorbiacea</i>	4,5,8	A,B
<i>Sarcohyla robertsororum</i>	4	B
<i>Craugastor augusti</i>	4	B
<i>Isthmura bellii</i>	3	A
<i>Isthmura gigantea</i>	1,4	B

Cuadro 5. Procedencia y motivo de exclusión de la lista taxonómica de las especies de la clase Reptilia. 1) Sánchez-Herrera (1980); 2) Flores-Villela y Gerez (1994); 3) Fernández *et al.* (2006a); 4) Fernández *et al.* (2006b); 5) Colección científica nacional; 6) GBIF. Motivos de exclusión: A) Identificaciones erróneas; B) Actualizaciones taxonómicas; C) Deficiencias en procedencia del registro.

Reptiles		
Especie	Procedencia del registro	Motivo de exclusión
<i>Aspidoscelis alpina</i>	3	B, C
<i>Aspidoscelis gularis</i>	1,3	A,C
<i>Aspidoscelis mexicana</i>	3	C
<i>Aspidoscelis sackii gigas</i>	3,4	A,C
<i>Urosaurus bicarinatus</i>	3,5,6	C
<i>Heloderma horridum</i>	2	A,C
<i>Senticolis triaspis</i>	3	C
<i>Trimorphodon tau</i>	3	C



### Riqueza de especies

De acuerdo con los registros obtenidos de las múltiples fuentes de información y después de llevar a cabo las revisiones de los ejemplares depositados en colecciones científicas y la exclusión de especies bajo los criterios antes mencionados, la herpetofauna del estado de Tlaxcala está compuesta por 47 especies, 33 especies son de reptiles y están agrupadas en 15 géneros y 10 familias, mientras que 14 especies son anfibios y se agrupan en 10 géneros y 7 familias (Anexos 3).

### Endemismo, categorías de conservación y procedencia de los registros.

La clase Amphibia en el estado de Tlaxcala, cuenta con 12 especies endémicas para el país, lo que corresponde al 85.71% de las especies presentes en el estado. Por otra parte, en cuanto al estado de conservación de acuerdo con la Lista Roja de las Especies (IUCN), Tlaxcala cuenta con 11 especies situadas en Preocupación Menor (LC), dos especies en la categoría Vulnerable (VU) y una especie en Casi Amenazada (NT). Respecto a la NOM-059-SEMARNAT-2010, tres especies se encuentran Sujetas a protección especial (Pr), tres especies se sitúan en la categoría Amenazadas (A) y ocho especies no están consideradas en ninguna categoría. Por último, de acuerdo con el índice de Vulnerabilidad Ambiental (EVS) de Wilson *et al.* (2013b) sólo dos especies se encuentran en la categoría Vulnerabilidad Baja (L), ocho especies se encuentran en la categoría Vulnerabilidad Media (M) y cuatro se denominan especies con Vulnerabilidad Alta (H) (Anexo 4).

Por otra parte, Tlaxcala contó con 26 especies de reptiles endémicos para el país, lo cual corresponde al 78.78% de total de especies registradas para el estado. En cuanto a la Lista Roja de las Especies, 29 especies se encontraron en la categoría de Preocupación menor (LC), *Sceloporus megalepidurus* y *Thamnophis scaliger* se encuentran en la categoría de Vulnerable (VU), mientras que *Thamnophis melanogaster* y *Abronia graminea* están categorizadas como especies en peligro de extinción (EN).

De acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010, nueve especies están Sujetas a protección especial (Pr), 10 especies están en la categoría de Amenazadas (A) y 14 especies no están consideradas en ninguna categoría. Por último, en cuanto al índice vulnerabilidad

ambiental (EVS) de Wilson *et al.* (2013a) tres especies se encuentran en Baja vulnerabilidad (L), 14 especies están en la categoría de Vulnerabilidad media (M) y 16 especies en la categoría de Alta vulnerabilidad (H) (Anexo 4).

### Análisis de diversidad

Curvas de acumulación de especies.

En cuanto a la curva de acumulación de especies de anfibios, no se alcanzó la asíntota. Sin embargo, de acuerdo con el estimador no paramétrico Chao 2 (Fig. 5) ya se han registrado el número total de especies esperadas (14 especies).

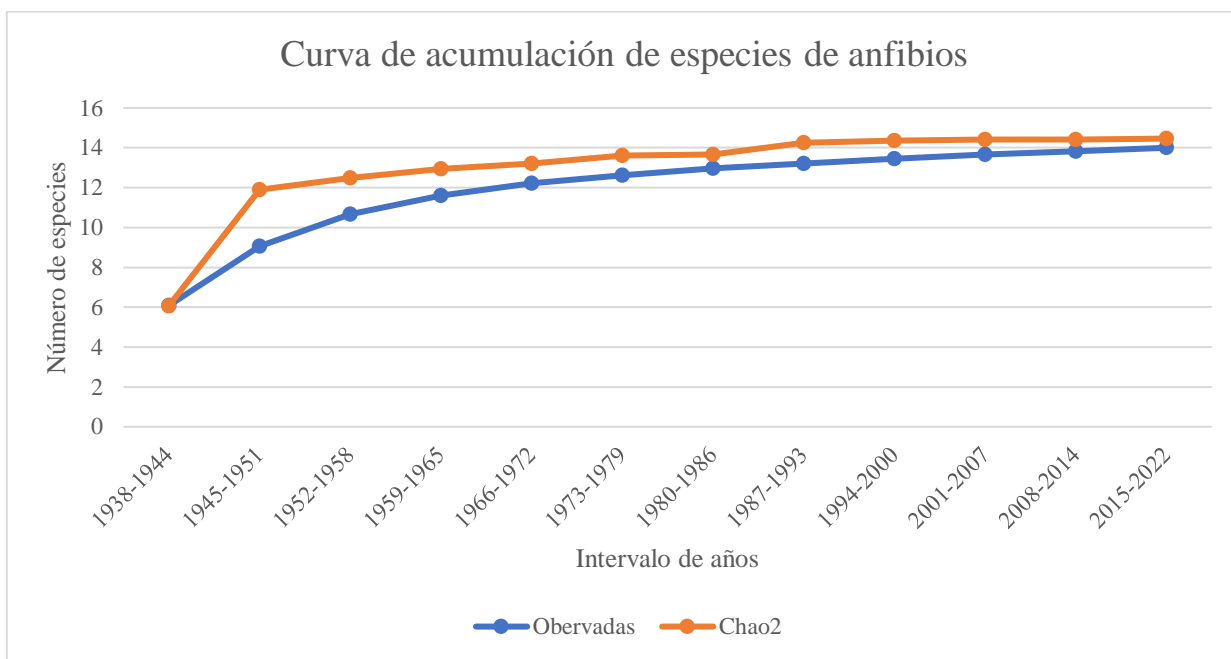


Figura 5. Curva de acumulación de especies realizada para los anfibios. La curva de las especies observadas se muestra en color azul, mientras que las especies esperadas con base en el estimador no paramétrico Chao 2 se muestra en color naranja.

Respecto a la curva de acumulación de especies de reptiles (Fig. 6), se pudo apreciar que para el año 1990 se había comenzado a aplanar la curva, sin embargo, ocurrió un incremento a partir del año 2006 que se mantuvo constante hasta la fecha. De acuerdo con el estimador Chao 2, el número de especies esperadas para el estado de Tlaxcala con el esfuerzo de muestreo llevado a cabo hasta el momento es de 36 especies, por lo tanto, las 33 especies de reptiles que se han registrado para el estado de Tlaxcala representan el 91.66% del total

esperado.

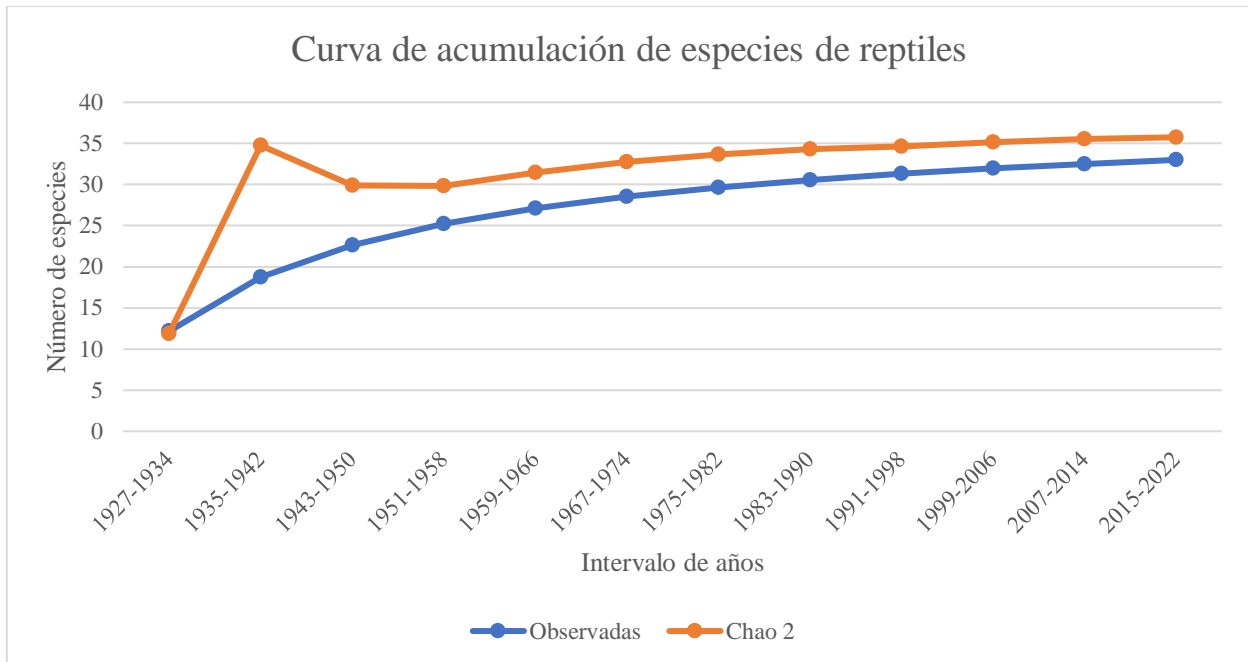


Figura 6. Curva de acumulación de especies realizada para los reptiles de Tlaxcala. La curva de las especies observadas se muestra en color azul, mientras que las especies esperadas con base en el estimador no paramétrico Chao 2 se muestra en color anaranjado.

### Diversidad $\beta$

#### Riqueza de especies por tipo de vegetación

Dado que sólo se incluyeron registros a partir del año 2002 para este análisis, los resultados están basados en 2542 registros que corresponden a 13 especies de anfibios y 29 especies de reptiles. Los hábitats en donde se obtuvieron registros de las diferentes especies de anfibios y reptiles fueron: Acuático (AC), Agricultura (AGR), Bosque de Encino (ENC), Bosque de Pino-Encino (P-E), Bosque de Oyamel (OYA), Bosque de Pino (PINO), Bosque de Tásate (TÁS) Matorral Xerófilo (MX), Pastizal Inducido (P-I), Pradera de Alta Montaña (PAM), Suelo Desnudo (SD) y Urbano (URB).

Los hábitats que albergaron una mayor riqueza de especies de la clase Amphibia fueron: Agricultura con nueve especies, Acuático con ocho especies y el Bosque de Pino con siete especies, mientras que la Pradera de alta Montaña y el Suelo Desnudo no presentaron ninguna especie, por lo que fueron excluidos en los análisis de diversidad  $\beta$  (Fig. 7). Por otra

parte, los hábitats con mayor riqueza de especies de reptiles fueron: Agricultura con 22 especies, seguido de Bosque de Pino con 20 especies y el tercer lugar fueron los Bosques de Encino y la categoría de Urbano con 16 especies cada uno, mientras que el Suelo Desnudo presentó la menor riqueza con una sola especie (Fig.7).

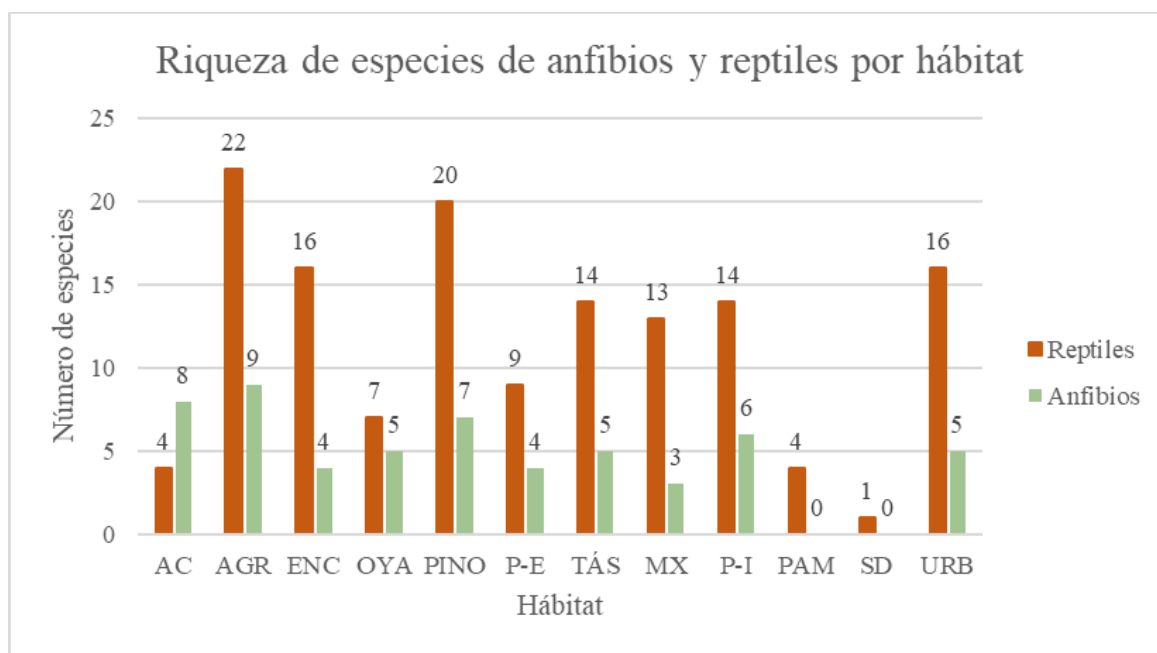


Figura 7. Riqueza de especies por tipo de vegetación. Las especies pertenecientes a la clase Amphibia se muestran en color verde, mientras que las especies de la clase Reptilia se presentan en color café. Las categorías fueron abreviadas, Acuático (AC), Agricultura (AGR), Bosque de Encino (ENC), Bosque de Pino-Encino (P-E), Bosque de Oyamel (OYA), Bosque de Pino (PINO), Bosque de Tásate (TÁS), Matorral Xerófilo (MX), Pastizal Inducido (P-I), Pradera de Alta Montaña (PAM), Suelo Desnudo (SD) y Urbano (URB).

#### Índice de disimilitud de Jaccard

De acuerdo con el método BAS, los hábitats con mayor disimilitud para los anfibios fueron Agrícola y Bosque de Oyamel con 92.3% de los cuales el 88.88% estuvo explicado por el recambio y el 3.41% fue debido a la diferencia en riqueza entre ambas comunidades. Seguido de la comparación entre el hábitat Acuático y Bosque de Oyamel con 91.66%, una tasa de recambio del 88.88% y una diferencia en riqueza 2.77%. En tercer lugar, fue la comparación entre el hábitat del Bosque de Pino y el Bosque de Tásate con un 90.91% de disimilitud, con

un recambio de 88.89% y un 2.02% debido a la diferencia en riqueza. En cuarto lugar, la comparación entre el hábitat Bosque de Oyamel y el Pastizal Inducido con 90% (recambio de 88.89% y 11.1% por diferencia en riqueza) y, por último, el Bosque de Pino y el Bosque de Encino con un 90% (recambio de 85.71% y una diferencia en riqueza de 4.29%) (Cuadros 6, 7, 8).

Cuadro 6. Matriz de disimilitud calculada para los Anfibios de Tlaxcala. Se empleó el método BAS (Baselga, 2012), con base en el índice de disimilitud de Jaccard. El índice va de 0 a 1, 0 cuando las comunidades comparten todas las especies y 1 cuando las comunidades no comparten ninguna especie, por ende, todas las especies son exclusivas. Este índice se expresa en porcentaje para facilitar su comprensión.

Matriz de Disimilitud de Anfibios									
	Acuático	Agrícola	Bosque de Encino	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque de Pino-Encino	Bosque de Táscate	Matorral Xerófilo	Pastizal Inducido
Agrícola	11.11%								
Bosque de Encino	50.00%	55.56%							
Bosque de Oyamel	91.67%	92.31%	87.50%						
Bosque de Pino	75.00%	76.92%	90.00%	28.57%					
Bosque de Pino-Encino	80.00%	81.82%	66.67%	50.00%	62.50%				
Bosque de Táscate	37.50%	44.44%	20.00%	88.89%	90.91%	71.43%			
Matorral Xerófilo	77.78%	66.67%	60.00%	85.71%	88.89%	60.00%	66.67%		
Pastizal Inducido	25.00%	33.33%	33.33%	90.00%	81.82%	75.00%	42.86%	71.43%	
Urbano	55.56%	44.44%	50.00%	88.89%	80.00%	71.43%	57.14%	40.00%	42.86%

Cuadro 7. Matriz de Recambio de Anfibios. Esta expresa la proporción de la disimilitud total debida al reemplazo de especies entre comunidades.

Matriz de Recambio para los anfibios									
	Acuático	Agrícola	Bosque de Encino	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque de Pino-Encino	Bosque de Táscate	Matorral Xerófilo	Pastizal Inducido
Agrícola	0.00%								
Bosque de Encino	0.00%	0.00%							
Bosque de Oyamel	88.89%	88.89%	85.71%						
Bosque de Pino	72.73%	72.73%	85.71%	0.00%					
Bosque de Pino-Encino	66.67%	66.67%	66.67%	40.00%	40.00%				

Bosque de Táscate	0.00%	0.00%	0.00%	88.89%	88.89%	66.67%			
Matorral Xerófilo	50.00%	0.00%	50.00%	80.00%	80.00%	50.00%	50.00%		
Pastizal Inducido	0.00%	0.00%	0.00%	88.89%	80.00%	66.67%	33.33%	50.00%	
Urbano	33.33%	0.00%	40.00%	88.89%	75.00%	66.67%	57.14%	0.00%	33.33%

Cuadro 8. Matriz de Anidamiento. En esta se representa la proporción de la disimilitud total entre comunidades que es debida a la diferencia en riqueza de especies.

Matriz de Anidamiento para los anfibios									
	Acuático	Agrícola	Bosque de Encino	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque de Pino-Encino	Bosque de Táscate	Matorral Xerófilo	Pastizal Inducido
Agrícola	11.11%								
Bosque de Encino	50.00%	55.56%							
Bosque de Oyamel	2.78%	3.42%	1.79%						
Bosque de Pino	2.27%	4.20%	4.29%	28.57%					
Bosque de Pino-Encino	13.33%	15.15%	0.00%	10.00%	22.50%				
Bosque de Táscate	37.50%	44.44%	20.00%	0.00%	2.02%	4.76%			
Matorral Xerófilo	27.78%	66.67%	10.00%	5.71%	8.89%	10.00%	16.67%		
Pastizal Inducido	25.00%	33.33%	33.33%	1.11%	1.82%	8.33%	9.52%	21.43%	
Urbano	22.22%	44.44%	10.00%	0.00%	5.00%	4.76%	0.00%	40.00%	9.52%

En cuanto a los reptiles, el índice de disimilitud de Jaccard mostró que los hábitats con mayor disimilitud fueron el Suelo Desnudo y el Acuático con un 100%, esta disimilitud fue debida al recambio de especies. Por otra parte, el Acuático y Bosque de Pino con 95.65% de disimilitud, una tasa de recambio del 85.71% y una diferencia en riqueza del 9.94%. Seguido de Bosque de Oyamel y Matorral Xerófilo con un 94.74%, del cual el 92.31% estuvo explicado por el recambio y únicamente el 2.43% fue debido a la diferencia en riqueza.

Por último, tanto la comparación del Matorral Xerófilo y el hábitat Acuático como los hábitats de Pradera de Alta Montaña y Matorral Xerófilo presentaron un 93.75% de disimilitud, el 85.71% de este estuvo explicado por el reemplazo de especies y el 8.04% por la diferencia en riqueza (Cuadros 9, 10, 11).

Cuadro 9. Matriz de disimilitud calculada para los Reptiles de Tlaxcala. Se empleó el método BAS (Baselga, 2012), con base en el índice de disimilitud de Jaccard. El índice va de 0 a 1, 0

cuando las comunidades comparten todas las especies y 1 cuando las comunidades no comparten ninguna especie. Este índice se expresa en porcentaje para facilitar su comprensión.

Matriz de disimilitud para los reptiles											
	Acuático	Agrícola	Bosque de Encino	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque de Pino-Encino	Bosque de Táscate	Matorral Xerófilo	Pastizal Inducido	Pradera Alta Montaña	Suelo Denudo
Agrícola	81.82%										
Bosque de Encino	88.89%	27.27%									
Bosque de Oyamel	90.00%	79.17%	78.95%								
Bosque de Pino	95.65%	38.46%	43.48%	71.43%							
Bosque de Pino-Encino	91.67%	65.22%	61.11%	66.67%	55.00%						
Bosque de Táscate	87.50%	36.36%	12.50%	83.33%	52.17%	64.71%					
Matorral Xerófilo	93.75%	54.17%	47.37%	94.74%	56.52%	84.21%	41.18%				
Pastizal Inducido	87.50%	36.36%	33.33%	83.33%	58.33%	64.71%	25.00%	50.00%			
Pradera Alta Montaña	85.71%	81.82%	82.35%	42.86%	80.00%	70.00%	80.00%	93.75%	80.00%		
Suelo Desnudo	100.00%	95.45%	93.75%	85.71%	95.00%	88.89%	92.86%	92.31%	92.86%	75.00%	
Urbano	88.89%	41.67%	31.58%	85.00%	61.54%	68.42%	23.53%	47.37%	23.53%	82.35%	93.75%

Cuadro 10. Matriz de Recambio de Reptiles. Esta expresa la proporción de la disimilitud total debida al reemplazo de especies entre comunidades.

Matriz de recambio para los reptiles											
	Acuático	Agrícola	Bosque de Encino	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque de Pino-Encino	Bosque de Táscate	Matorral Xerófilo	Pastizal Inducido	Pradera Alta Montaña	Suelo Denudo
Agrícola	0.00%										
Bosque de Encino	66.67%	0.00%									
Bosque de Oyamel	85.71%	44.44%	60.00%								
Bosque de Pino	85.71%	33.33%	31.58%	25.00%							
Bosque de Pino-Encino	85.71%	20.00%	36.36%	60.00%	0.00%						
Bosque de Táscate	66.67%	0.00%	0.00%	72.73%	35.29%	50.00%					
Matorral Xerófilo	85.71%	26.67%	37.50%	92.31%	37.50%	80.00%	37.50%				
Pastizal Inducido	66.67%	0.00%	25.00%	72.73%	44.44%	50.00%	25.00%	47.06%			
Pradera Alta	85.71%	0.00%	40.00%	0.00%	0.00%	40.00%	40.00%	85.71%	40.00%		

Montaña											
Suelo											
Desnudo	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Urbano	66.67%	22.22%	31.58%	72.73%	54.55%	50.00%	13.33%	37.50%	13.33%	40.00%	0.00%

Cuadro 11. Matriz de Anidamiento para los anfibios. En esta se representa la proporción de la disimilitud total entre comunidades que es debida a la diferencia en riqueza de especies.

Matriz de Anidamiento para los reptiles											
	Acuático	Agrícola	Bosque de Encino	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque de Pino-Encino	Bosque de Táscate	Matorral Xerófilo	Pastizal Inducido	Pradera Alta Montaña	Suelo Denudo
Agrícola	81.82%										
Bosque de Encino	22.22%	27.27%									
Bosque de Oyamel	4.29%	34.72%	18.95%								
Bosque de Pino	9.94%	5.13%	11.90%	46.43%							
Bosque de Pino-Encino	5.95%	45.22%	24.75%	6.67%	55.00%						
Bosque de Táscate	20.83%	36.36%	12.50%	10.61%	16.88%	14.71%					
Matorral Xerófilo	8.04%	27.50%	9.87%	2.43%	19.02%	4.21%	3.68%				
Pastizal Inducido	20.83%	36.36%	8.33%	10.61%	13.89%	14.71%	0.00%	2.94%			
Pradera Alta Montaña	0.00%	81.82%	42.35%	42.86%	80.00%	30.00%	40.00%	8.04%	40.00%		
Suelo Denudo	0.00%	95.45%	93.75%	85.71%	95.00%	88.89%	92.86%	92.31%	92.86%	75.00%	
Urbano	22.22%	19.44%	0.00%	12.27%	6.99%	18.42%	10.20%	9.87%	10.20%	42.35%	93.75%

### Índice de Contribución de la Diversidad $\beta$ (ÍCD- $\beta$ )

Debido a que el ÍCD- $\beta$  prioriza la conservación de sitios con vegetación nativa que alberguen la mayor cantidad de especies exclusivas en áreas con un alto grado de deterioro ambiental como el estado de Tlaxcala, se omitieron aquellos hábitats que no presentaron registros de especies, así como los hábitats Agricultura y Urbano y se eliminaron de la lista especies invasoras. Cabe mencionar que todas las especies de estos dos hábitats excluidos se encontraron representadas en los hábitats incluidos en el análisis.

Los resultados obtenidos para la clase Amphibia al promediar el ÍCD- $\beta$  para cada una de las interacciones pareadas, indicaron una mayor contribución a la diversidad  $\beta$  por parte del



hábitat Acuático ( $\text{ÍCD-}\beta = 0.42$ ) y la presencia de ocho de las 13 especies implicadas en el análisis. En segundo lugar, se encontraron el Bosque de Pino ( $\text{ÍCD-}\beta = 0.42$ ) y en tercer lugar se encuentra el Bosque de Oyamel ( $\text{ÍCD-}\beta = 0.32$ ) (Cuadro 12).

Cuadro 12. Promedios de  $\text{ÍCD-}\beta$  calculados para los Anfibios de Tlaxcala. Se muestra el número de especies exclusivas con las cuales contribuye cada uno de los hábitats, así como la acumulación de estas para la toma de decisión en términos de conservación. Se anexa el porcentaje de extensión territorial cubierto por cada hábitat dentro del estado de Tlaxcala, calculado a partir de las capas de Uso de suelo y vegetación de la serie VI de INEGI.

Hábitat	$\text{ÍCD-}\beta$	Especies exclusivas	Acumulación de especies residentes	% Área
Acuático	0.42	8	8	0.19
Bosque de Pino	0.41	4	12	9.04
Bosque de Oyamel	0.36	0	12	0.53
Pastizal Inducido	0.33	0	12	2.55
Bosque de Pino-Encino	0.29	0	12	0.9
Bosque de Táscate	0.29	0	12	1.46
Matorral Xerófilo	0.29	1	13	0.75
Bosque de Encino	0.22	0	13	0.96

La curva de acumulación de especies residentes realizada para los anfibios mostró que, en conjunto, los hábitats Acuático, Bosque de Pino y Matorral Xerófilo albergaron en su totalidad a los anfibios del estado de Tlaxcala (13 especies) (Fig. 8).

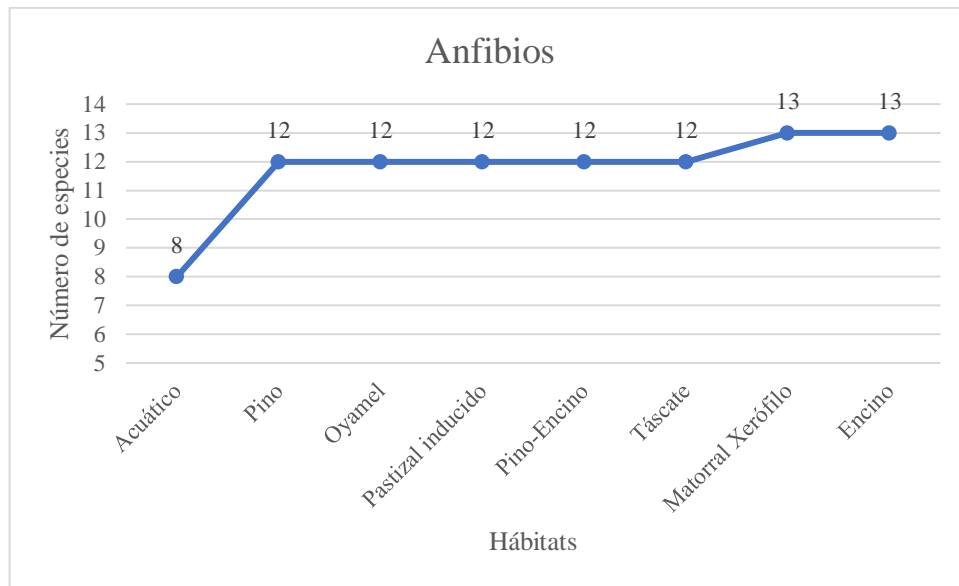


Figura 8. Curva de acumulación de especies residentes para los anfibios en cada uno de los hábitats evaluados en Tlaxcala a partir del  $\acute{I}CD-\beta$ . El orden de los hábitats representa su posición en la contribución de la diversidad  $\beta$ .

En cuanto a los reptiles, el  $\acute{I}CD-\beta$  mostró al Bosque de Pino como el hábitat con la mayor contribución a la diversidad  $\beta$  ( $\acute{I}CD-\beta=0.53$ ), albergando 20 de las 28 especies implicadas en el estudio. El segundo lugar, fue ocupado por el Bosque de Encino ( $\acute{I}CD-\beta=0.42$ ) adicionando tres especies exclusivas y, por último, el Pastizal Inducido fue el tercer lugar ( $\acute{I}CD-\beta=0.40$ ) sumando una especie exclusiva a la acumulación de especies potencialmente protegidas (Cuadro 13).

Cuadro 13. Promedios de  $\acute{I}CD-\beta$  calculados para los reptiles de Tlaxcala. Se muestra el número de especies exclusivas con las cuales contribuye cada uno de los hábitats, así como la acumulación de estas para la toma de decisiones en términos de conservación. Se anexó el porcentaje de extensión territorial cubierto por cada hábitat dentro del estado de Tlaxcala, calculado a partir de las capas de Uso de suelo y vegetación de la serie VI de INEGI.

Habitat	$\acute{I}CD-\beta$	Especies exclusivas	Acumulación de especies residentes	% Área
Bosque de Pino	0.53	20	20	9.04
Bosque de Encino	0.42	3	23	0.96
Pastizal Inducido	0.40	1	24	2.55
Matorral Xerófilo	0.40	1	25	0.75

Acuático	0.40	2	27	0.19
Bosque de Táscate	0.38	0	27	1.46
Bosque de Pino-encino	0.36	0	27	0.9
Pradera Alta Montaña	0.31	0	27	0.04
Bosque de Oyamel	0.26	1	28	0.53
Suelo Desnudo	0.24	0	28	0.01

La curva de acumulación de especies residentes realizada para los reptiles (Fig. 9) nos muestra a los hábitats Bosque de Pino, Bosque de Encino, Pastizal Inducido, Matorral Xerófilo, Acuático y el Bosque de Oyamel como los hábitats que albergan la totalidad de especies de reptiles para Tlaxcala (28 especies), con los cuales podríamos conservar la diversidad total del estado.

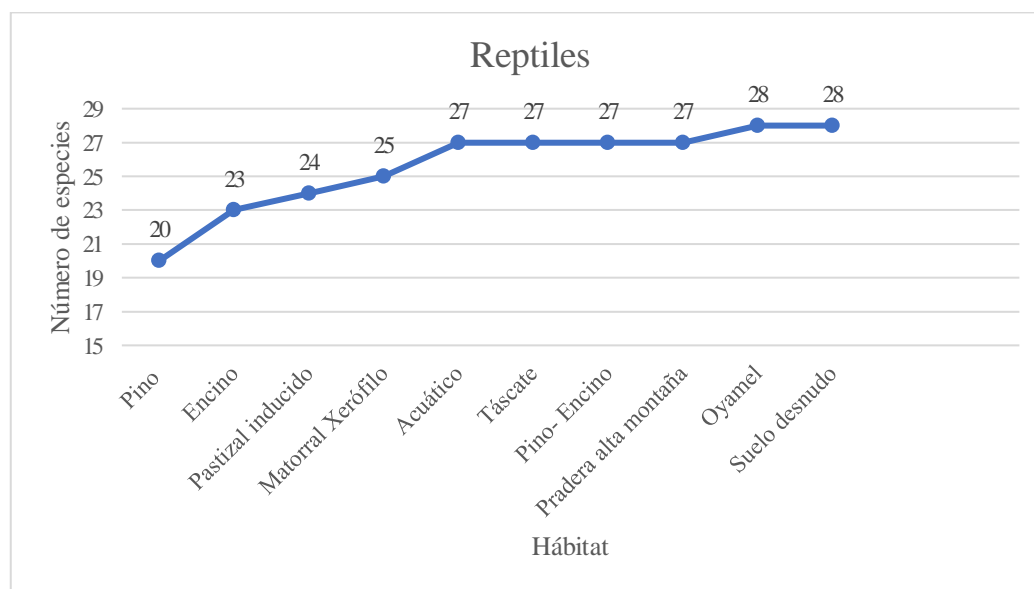


Figura 9. Curva de acumulación de especies residentes aportadas por cada uno de los hábitats, realizada para los reptiles de Tlaxcala a partir del  $\text{ÍCD-}\beta$ . El orden de los hábitats representa su posición en la contribución a la diversidad  $\beta$ .

#### Índice de contribución Ponderada de la Diversidad $\beta$ ( $\text{ÍCPD-}\beta$ )

El hábitat con el mayor  $\text{ÍCPD-}\beta$  en el caso de los anfibios fue el Bosque de Pino ( $\text{ÍCPD-}\beta=0.53$ ), agregando siete especies exclusivas, en segundo lugar, se encontró al Bosque de Oyamel ( $\text{ÍCPD-}\beta=0.46$ ) sin acumulación de especies exclusivas y en tercer lugar se presentó el hábitat Acuático ( $\text{ÍCPD-}\beta =0.42$ ) adicionando cinco especies exclusivas potencialmente

protegidas (Cuadro 14).

Cuadro 14. Promedio del ÍCPD- $\beta$ , calculado para los anfibios de Tlaxcala a partir del valor ponderado por vulnerabilidad de cada una de las especies exclusivas que componen a cada hábitat. Se incluyó la acumulación de especies residentes y, por último, se anexó el porcentaje de extensión territorial dentro del estado de Tlaxcala.

Hábitat	Promedio ÍCPD- $\beta$	Especies exclusivas	Acumulación de especies residentes	% Área
Bosque de Pino	0.53	7	7	9.04
Bosque de Oyamel	0.46	0	7	0.53
Acuático	0.42	5	12	0.19
Bosque de Pino-Encino	0.30	0	12	0.9
Pastizal Inducido	0.27	0	12	2.55
Bosque de Táscate	0.26	0	12	1.46
Bosque de Encino	0.15	0	12	0.96
Matorral Xerófilo	0.15	1	13	0.75

La curva acumulación de especies residentes indicó que los hábitats Bosque de Pino, Bosque de Oyamel, Acuático y Matorral Xerófilo albergaron la totalidad de la diversidad de anfibios (13 especies), cabe mencionar que los hábitats Bosque de Pino y Bosque de Oyamel albergaron al grupo de Plethodontidos del estado, especies con altos valores de vulnerabilidad (Fig. 10).

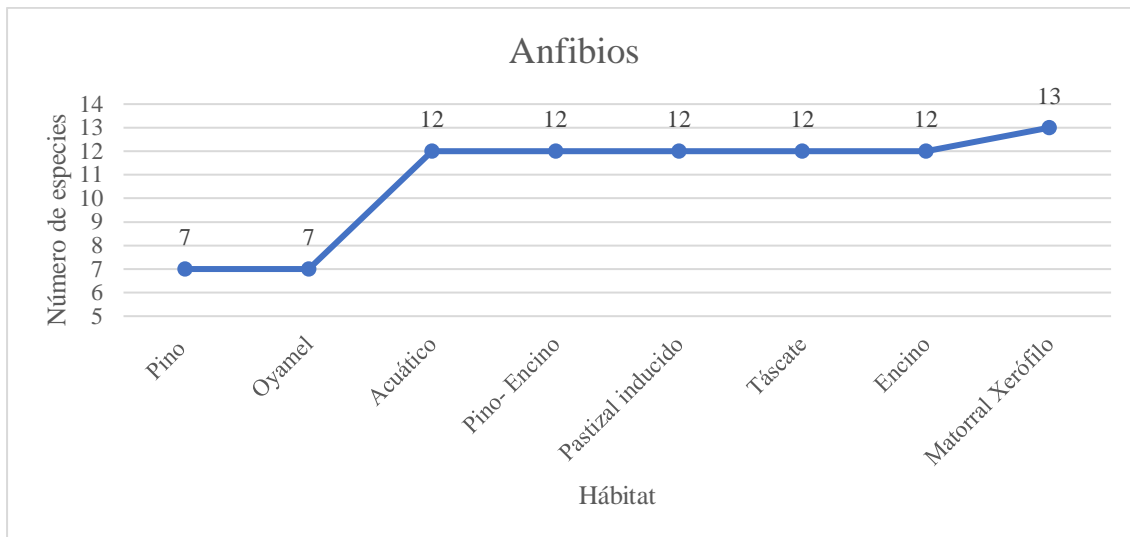


Figura 10. Curva de acumulación de especies exclusivas aportadas por cada uno de los hábitats, para los anfibios de Tlaxcala a partir del ÍCPD- $\beta$ . El orden de los hábitats representa su posición en la contribución a la diversidad  $\beta$ .

En cuanto a los reptiles, el Bosque de Pino registró el mayor ÍCPD- $\beta$  (0.58), proporcionando 20 especies residentes de las 28 involucradas en el estudio. Por otra parte, el Bosque de Encino se colocó en segundo lugar (ÍCPD- $\beta$ =0.48), sumando tres especies exclusivas a las 20 aportadas por el Bosque de Pino, el tercer lugar lo presentó el Matorral Xerófilo (ÍCPD- $\beta$ =0.46), con la adición de una especie exclusiva (Cuadro 15).

Cuadro 15. Promedio del ÍCPD- $\beta$ , calculado para los reptiles de Tlaxcala a partir del valor ponderado por vulnerabilidad de cada una de las especies exclusivas que conformaron a cada hábitat. Se incluyó la acumulación de especies residentes y se anexó el porcentaje de extensión territorial dentro del estado de Tlaxcala.

Hábitat	Promedio ÍCPD- $\beta$	Especies exclusivas	Acumulación de especies residentes	% Área
Bosque de Pino	0.58	20	20	9.04
Bosque de Encino	0.48	3	23	0.96
Matorral Xerófilo	0.46	1	24	0.75
Pastizal Inducido	0.46	1	25	2.55
Bosque de Táscate	0.44	0	25	1.46
Pino-encino	0.35	0	25	0.9
Bosque de Oyamel	0.34	1	26	0.53
Acuático	0.32	2	28	0.19

Pradera Alta Montaña	0.17	0	28	0.04
Suelo Desnudo	0.01	0	28	0.01

La curva de acumulación de especies residentes mostró que los hábitats Bosque de Pino, Encino, Matorral Xerófilo y Pastizal Inducido albergaron el 89.28% del total de especies de reptiles presentes en el estado de Tlaxcala. No obstante, los hábitats Bosque de Oyamel y Acuático siguen adicionando especies exclusivas a pesar de la diferencia en riqueza con respecto de las comunidades con mayor ÍCPD- $\beta$ .

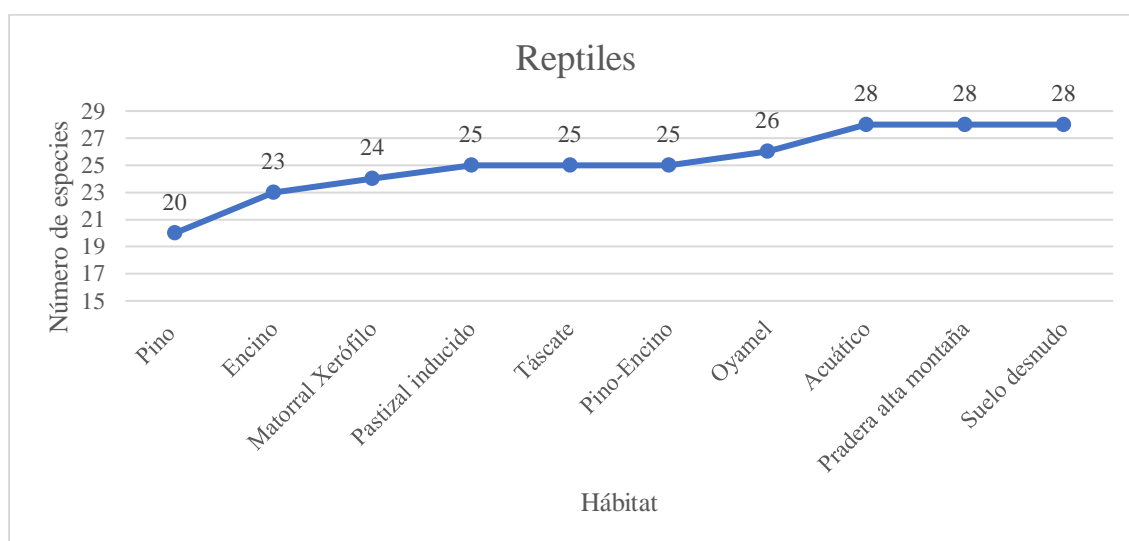


Figura 11. Curva de acumulación de especies residentes aportadas por cada hábitat, para los reptiles de Tlaxcala a partir del ÍCPD- $\beta$ . El orden de los hábitats representa su posición en la contribución a la diversidad  $\beta$ .

### Mapas de Incidencia

Se realizaron 28 mapas de incidencia con los 3428 registros obtenidos en este estudio dentro del estado de Tlaxcala, 1273 registros correspondieron a las 14 especies de anfibios, las cuales fueron agrupadas por género y estuvieron representadas en 10 mapas, mientras que las 33 especies de reptiles se albergaron en 18 mapas creados a partir de 2155 registros que corresponden a 15 géneros (Anexo 5).

## Discusión

De acuerdo con los resultados, Tlaxcala alberga 33 especies de reptiles y 14 especies de anfibios, los cuales representan el 3.4% y el 3.33% del total de anfibios y reptiles del país. De las 47 especies de herpetofauna del estado, el 88.37% son endémicas al territorio nacional (26 reptiles y 12 anfibios). Comparado con las 348 especies (217 especies de reptiles y 131 anfibios) de la “Región Montañosa Central” reportadas por Flores-Villela *et al.* (2010), a la cual pertenece el área de estudio, Tlaxcala aloja al 15.20% de los reptiles y al 10.68% de los anfibios.

La riqueza de especies de anfibios y reptiles documentada en el presente estudio fue un 12.9% menor a la reportada por Fernández *et al.* (2006a). No obstante, la lista taxonómica de Fernández *et al.* (2006a) sobreestima la riqueza de ambos grupos de vertebrados al presentar epítetos específicos desactualizados, identificaciones erróneas e inconsistencias en la procedencia de los registros. Además, de la consideración de especies con distribuciones en el estado que no pudieron ser corroboradas durante las revisiones de ejemplares en las diferentes colecciones nacionales e internacionales, motivo por el cual fueron excluidas en este trabajo.

En cuanto a las actualizaciones taxonómicas del grupo de los reptiles, de acuerdo con Barley *et al.* (2019), las especies *Aspidoscelis alpinus* y *Aspidoscelis costatus* son sinónimos. Por otra parte, los ejemplares de *Aspidoscelis gularis*, *Aspidoscelis mexicanus* y *Aspidoscelis sackii gigas* depositados en colecciones nacionales fueron prestados desde el año 2005, por lo cual no se pudo comprobar su presencia en el estado. No obstante, de acuerdo con Barley *et al.* (2019), *A. gularis* se distribuye principalmente en el norte del país, desde el estado de Hidalgo hasta el sur de los Estados Unidos de Norteamérica. Además, la distribución de *A. mexicanus* se restringe al estado de Oaxaca, mientras que *A. s. gigas* se distribuye en los estados de Puebla, Oaxaca, Guerrero y Morelos en la región de la Cuenca del Balsas, exclusivamente en ambientes de bosque tropical caducifolio.

Flores-Villela y Gerez (1994) y Fernández *et al.* (2006a) incluyen a las especies *Senticolis triaspis*, *Trimorphodon tau* y *Heloderma horridum* en su lista taxonómica, estas no pudieron ser registradas durante el trabajo de campo. Además, sin mencionar que estas especies carecen de un registro formal dentro de alguna colección y su presencia en el estado resulta controversial, ya que de acuerdo con diferentes autores como Dixon y Lemos-Espinal

(2010) y Ramírez-Bautista *et al.* (2014), estas especies son propias de elevaciones menores a los 2300 m s.n.m. y habitan en bosque tropical subperennifolio, bosque tropical caducifolio, bosque mesófilo de montaña y matorral tropical, tipos de vegetación que no se encuentran en el estado de Tlaxcala.

Por otro lado, se eliminó el registro de la especie *Urosaurus bicarinatus* (ENEPI-0215), ya que, a pesar de ser una identificación correcta, los metadatos de la bitácora original no presentan las coordenadas del registro y carecen de información útil que permita hacer una georreferenciación fidedigna. Por otra parte, esta especie es endémica de la vertiente del Pacífico de México y se distribuye a elevaciones por debajo de los 1600 m s.n.m. en bosques secos tropicales, bosques tropicales caducifolios y bosques de *Quercus*, estos tipos de vegetación no se encuentran en Tlaxcala o su distribución comienza a elevaciones por encima de los 2000 m s.n.m. (Feldman *et al.* 2011; Sánchez-Soto, 2016). Por último, el registro más cercano se encuentra aproximadamente a 97 km en línea recta al SE del municipio de San Juan Epatlán, Puebla a 12 km E del rancho Lagunillas (MZFC-6863) (GBIF, 2022).

En cuanto a la clase Amphibia, de acuerdo con Parra-Olea *et al.* (2020), la especie del género *Chiropetrotriton* que se distribuye en Tlaxcala es *C. orculus*, lo que resuelve la incógnita del epíteto específico de los ejemplares de *Chiropetrotriton sp.* reportados por Fernández *et al.* (2006a; 2006b). Por otro lado, se descartó a la especie *Isthmura bellii* reportada por Sánchez-Aguilar (2005), esto debido a una identificación errónea, ya que posterior a la revisión de los ejemplares, estos corresponden a la especie *Pseudoeurycea gadovii* (UATX-0352, UATX-353, UATX-354). Méndez de la Cruz *et al.* (2018) mencionan registros anecdóticos en la ladera noroeste del volcán “La Malinche”, no obstante, en ningún trabajo previo ni en este trabajo fue posible localizar a la especie. Del mismo modo, se excluyó al sapo *Anaxyrus punctatus* citado por Fernández *et al.* (2006b) debido a 1) que es una identificación errónea, pues el ejemplar UATX-0823 corresponde a la especie *Spea multiplicata* y 2) el segundo ejemplar (UATX-0439) se encuentra extraviado por lo que no fue posible corroborar la veracidad del registro.

Con respecto a la salamandra *Isthmura gigantea* reportada por Sánchez-Herrera (1980) y Fernández *et al.* (2006a), se excluyó de la lista taxonómica, ya que de acuerdo con Parra-Olea *et al.* (2005) la distribución de esta especie queda restringida a la Sierra Madre Oriental



en Hidalgo, norte de Puebla y Veracruz, aunado a esto, no existen ejemplares depositados en colecciones nacionales e internacionales que comprueben su distribución dentro del estado.

Por otra parte, se excluyó a los organismos de *Dryophytes euphorbieaceus* y *Rheohyla miotympanum* que fueron depositados en la colección MZFC, ausentes por préstamo desde el 2005, lo cual impidió su corroboración. Cabe mencionar que estas especies fueron identificadas por medio de larvas, lo que pone en duda la veracidad de la información. Además, de acuerdo con Stuart *et al.* (2008), la distribución de estas especies se encuentra en la Sierra Madre Oriental, en el caso particular de *Dryophytes euphorbieaceus*, en los estados de Veracruz, sureste de Puebla y Oaxaca, mientras que la distribución de *Rheohyla miotympanum*, va desde el centro de Nuevo León, Veracruz y se extienden a Oaxaca y norte de Chiapas.

Por último, Fernández *et al.* (2006a) reportaron especies que no han sido depositadas en colecciones científicas, ni registradas en las diferentes publicaciones estatales, las cuales son: *Scaphiopus couchii*, *Craugastor augusti* y *Sarcohyla robertsorum*, mismas que no pudieron ser corroboradas durante el trabajo de campo, motivo por el cual no son consideradas en el presente estudio.

En este trabajo incrementamos la lista de especies presentada por los autores anteriores, agregando el registro de *Anaxyrus compactilis* (Liner y Whitten, 1976), *Rana montezumae* (Duifhus-Rivera y García-Vázquez, 2010) y *Eleutherodactylus nitidus* (García-Vázquez y Trujano-Ortega, 2012).

Reportamos por primera vez la presencia de las lagartijas *Abronia graminea* (UATX-0949) y *Siderolamprus legnotus* (UATX-0948), así como la serpiente *Indotyphlops braminus* (MZFZ-4462) provenientes de la Colección Regional de Vertebrados de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, que no habían sido reportados formalmente (Sánchez-Luna *et al.* en prensa). Por lo tanto, se reafirma la importancia de las colecciones científicas como reservorios de diversidad (Swing *et al.* 2014). Además, adicionamos el primer registro de *Thamnophis melanogaster* (<https://www.naturalista.mx/observations/60922461>) como producto del proyecto de ciencia ciudadana “Anfibios y Reptiles de Tlaxcala” alojado en la plataforma de Naturalista, resaltando la relevancia de la implementación de tecnologías puestas a disposición de la ciudadanía y las comunidades particularmente en regiones con

escaso esfuerzo de muestreo y difícil acceso. Ya que, como mencionan Finkelievich y Fischnaller (2014), posibilita la recopilación de datos e información, así como el registro de diversos eventos que podrían pasar inadvertidos en múltiples investigaciones.

El presente estudio adiciona ocho especies (3 anfibios y 5 reptiles) a las 38 enlistadas en trabajos realizados previamente en la entidad, incrementando la herpetofauna de Tlaxcala a 47 especies. Respecto a los anfibios, la riqueza de especies fue menor a la reportada por Parra-Olea *et al.* 2014, quienes reportaron 16 especies para el estado de Tlaxcala, por encima de Baja California Sur (5 especies), Guanajuato (13 especies), Zacatecas (14 especies) y Aguascalientes (15 especies). Sin embargo, en esa publicación tampoco se presenta una lista taxonómica que nos permita realizar una comparación más minuciosa sobre las especies que han sido registradas en ambos estudios. En correspondencia con los resultados de la presente investigación, Tlaxcala comparte sitio con el estado de Zacatecas con 14 especies como uno de los estados con menor diversidad de anfibios.

Por otro lado, Flores-Villela y García Vázquez (2014), sitúan a la entidad como la menos diversa del país con 31 especies de reptiles, un número que parece aproximarse a los resultados obtenidos en esta investigación. Sin embargo, en su publicación no se presenta una lista taxonómica que permita comparar las especies. A pesar de que en este estudio se reporta una mayor riqueza de especies, Tlaxcala es el estado menos diversos en reptiles con 33 especies.

El estimador no paramétrico Chao 2 predijo 14 especies de anfibios, lo cual concuerda con la riqueza de anfibios registrada durante este estudio. Esto podría indicar que se han registrado el total de especies de anfibios para el estado de Tlaxcala. Sin embargo, es necesario mencionar que, de acuerdo con Flores-Villela y García Vázquez (2014), Tlaxcala es uno de los estados con menor esfuerzo de muestreo realizado. Registros anecdóticos sugieren la presencia de la especie *Isthmura bellii* en La Malinche y no ha sido confirmada su presencia. Sin embargo, derivado del monitoreo de la herpetofauna en la región de los bosques y lagos del Anáhuac, en el año 2021 fue registrada esta especie en las faldas del volcán Iztaccíhuatl en el estado de Puebla, a tan sólo 20 km al sur de los bosques de pino del municipio de Nanacamilpa de Mariano Arista al Oeste de Tlaxcala. Por lo tanto, no se descarta la

posibilidad de que *Isthmura bellii* pueda habitar los bosques de pino de Tlaxcala en la región del espolón de la Sierra Nevada.

Por otro lado, con base en el estimador Chao 2 podría haber aproximadamente tres especies de reptiles que aún no han sido registradas. Esto podría deberse a que la mayoría de los estudios se han llevado a cabo en la porción sureste de Tlaxcala que corresponde al volcán La Malinche (Sánchez-de Tagle, 1978; Sánchez-Aguilar, 2005; Méndez-De la Cruz *et al.* 2018; Díaz de la vega-Pérez *et al.* 2019). Mientras que, la sierra de Tlaxco ha sido escasamente muestreada, esto resulta relevante ya que, recientemente Díaz de la Vega-Pérez *et al.* (2022) publicaron extensiones de distribución a mayores elevaciones de la lagartija *Sceloporus megalepidurus* en el municipio de Tlaxco (Anexo 6), lo que podrían ser potenciales colonizaciones promovidas por el cambio climático global y la modificación de la vegetación nativa. Además, esta región dio lugar a registros únicos para el estado como *Abronia graminea* y *Siderolamprus legnotus*, especies que habían sido registradas en los municipios aledaños inmersos en la Sierra Norte de Puebla conocida por su alta diversidad.

Existen registros anecdóticos que indican la presencia de algunas especies que no pudieron ser documentadas durante los muestreos. 1) *Geophis mutitorques* en el municipio de Tlaxco (comunicación personal), lo cual resulta probable ya que esa porción del estado de Tlaxcala cuenta con bosques de coníferas y bosque de Quercus, tipos de vegetación en donde se distribuye naturalmente la especie (Flores-Villela y Gerez, 1994; Dixon y Lemos, 2010), además, se han registrado ejemplares de esta serpiente en el Municipio de Chignahuapan en el estado de Puebla. 2) Existen trabajos que sugieren la presencia de especies como *Conopsis nasus* (Dixón y Lemos-Espinal, 2010) y *Crotalus polystictus* (SEMARNAT, 2018), las cuales de distribuyen en estados colindantes como Hidalgo, Puebla y el Estado de México.

El uso de los valores brutos obtenidos con el procedimiento de Baselga (2012), no fueron suficientes para diferenciar de manera directa cuál de las comunidades que estaban siendo comparadas realizó el mayor aporte a la diversidad  $\beta$  y, por ende, la que debería ser considerada en términos de conservación. De acuerdo con Baselga y Gómez-Rodríguez (2019) y Calderón-Patrón y Moreno, (2019), cuando se llevan a cabo comparaciones entre diferentes sitios debe priorizarse la conservación de aquel par de sitios con la mayor disimilitud y el

mayor recambio taxonómico, pues albergarían, en teoría, al mayor número de especies exclusivas y estas serían complementarias.

De acuerdo con esta aproximación, en el caso particular de los anfibios, los hábitats Agricultura y Bosque de Oyamel serían el par de hábitats prioritarios para la conservación. En el caso específico del hábitat Bosque de Oyamel es coherente ya que, destacó por tener la mayor tasa de recambio al albergar al 100% (cuatro especies) de Plethodontidos reportados en este estudio, lo que respaldó su relevancia como sitio prioritario para la conservación en un futuro. No obstante, la selección del hábitat Agricultura como un sitio prioritario para su conservación resultó discordante ya que, de acuerdo con Espejel *et al.* (2004), a pesar de ser el estado más pequeño de la república, después de la CDMX, se estima que Tlaxcala conserva únicamente entre el 17 y 19% de su vegetación natural. Por lo tanto, alrededor 82.34% de su extensión territorial ha sido transformada para actividades agrícolas, embebiendo a diferentes tipos de vegetación nativa, los cuales siguen siendo sometidos a presiones como la tala ilegal, el sobrepastoreo e incendios (Koleff y Soberón, 2008; Díaz de la Vega-Pérez *et al.*, 2019). Mientras que las tasas de recuperación de la vegetación son mínimas, tan sólo en el periodo comprendido entre 2007 y 2011, la tasa de recuperación en la entidad fue del 0.04% (INEGI, 2015).

A pesar de que la aproximación anterior se contrapone con nuestra predicción al presentarse la mayor riqueza de anfibios en sitios con uso de suelo Agrícola. La implementación del  $\text{ÍCD-}\beta$  como una aproximación alternativa permitió obtener un valor con mayores aplicaciones ecológicas, pues identificó al hábitat Acuático como el hábitat con la mayor contribución a la diversidad  $\beta$ , tanto en especies exclusivas involucradas en recambio como su diferencia en riqueza de especies con respecto de otros hábitats. Si bien, la mayoría de los registros utilizados en este estudio carecieron de información particular como el “uso de hábitat”, durante los muestreos se pudo observar la acumulación de poblaciones de anfibios cerca de charcas originadas por el escurrimiento de arroyos o cuerpos de agua creados artificialmente para la agricultura y la ganadería, un aspecto importante de mencionar pues existe la posibilidad de que estos se encuentren contaminados por el uso de pesticidas y plaguicidas en las áreas circundantes. Por lo tanto, es pertinente hacer una reflexión sobre la importancia de estos sitios como reservorios de diversidad, particularmente para los anuros en

dónde cobran mayor relevancia siendo empleados para la reproducción, alimentación e incluso termorregulación (Cardozo y Caraballo, 2017).

Aunado a lo anterior, es importante destacar que el índice de disimilitud de Jaccard empleado en el procedimiento de Baselga (2012) puede alcanzar su valor máximo ( $\beta_{jac}=1$ ) cuando todas las especies de ambas comunidades en comparación son exclusivas sin importar el número de especies involucradas (Calderón-Patrón y Moreno, 2019). De acuerdo con los criterios de Baselga y Gómez-Rodríguez (2019), para el caso de los reptiles los hábitats Suelo Desnudo y Acuático resultaron el par de sitios prioritarios para la conservación. No obstante, el Suelo Desnudo (presente en las cimas de las montañas por encima de 4200 m s.n.m.) presentó sólo una especie y fue la más común en todo el estudio (*Sceloporus grammicus*), mientras que el hábitat Acuático estuvo compuesto por cuatro especies.

Esto fortaleció la propuesta del uso del uso del  $\text{ÍCD-}\beta$  como apoyo en la toma de decisiones de sitios prioritarios para la conservación ya que, a diferencia del procedimiento de Baselga (2012), el hábitat Suelo Desnudo se colocó como el sitio con menor aporte a la diversidad  $\beta$ , evitando sobrestimar la contribución del hábitat que fue habitado por una sola especie. Evidenciando la importancia del  $\text{ÍCD-}\beta$  como un índice con mayores implicaciones ecológicas, ya que este mostró al Bosque de Pino como el hábitat con la mayor contribución a la diversidad  $\beta$  tanto en recambio como en diferencia en riqueza de especies, pues albergó 20 especies que podrían ser conservadas de las 28 implicadas en el análisis.

Por otra parte, la implementación del Índice de Contribución Ponderada a la Diversidad  $\beta$  ( $\text{ÍCPD-}\beta$ ) mostró mayor relevancia en comunidades anidadas con diferentes extensiones territoriales y con condiciones ambientales particulares que pudieron determinar la abundancia de las especies que las componen. A diferencia de las aproximaciones anteriores, la importancia de su uso radicó en la incorporación de la mayor información posible sobre la ecología de las especies, a partir de valores que resumen su relevancia a nivel de grupo taxonómico (EVS score), nacional (NOM-O59-SEMARNAT-2010) e internacional (IUCN). Su uso durante este estudio, fortaleció los resultados obtenidos con el  $\text{ÍCD-}\beta$ , pues complementó las bases teóricas de la implementación de esta aproximación, ya que, si bien el hábitat Bosque de Oyamel no incorporó especies exclusivas residentes que podrían ser conservadas, presentó altas tasas de recambio originadas por contener el 100% de los

Plethodontidos del estado (cuatro especies), especies exclusivas de bosques templados que habitan a mayores elevaciones y con requerimientos ecológicos muy específicos.

Los índices propuestos con anterioridad  $\text{ÍCD-}\beta$  e  $\text{ÍCPD-}\beta$  mostraron tendencias similares en cuanto a la determinación de aquellos hábitats que podrían ser prioritarios para la conservación en un futuro, tanto para anfibios como para reptiles. El hábitat Acuático y el Bosque de Pino destacaron como los hábitats con la mayor contribución a la diversidad  $\beta$ . Sin embargo, en el caso del Bosque de Pino a pesar de que fue el tipo de vegetación nativa con la mayor riqueza de especies y de formar parte de los bosques de coníferas de la Faja Volcánica Transmexicana, donde destaca la alta riqueza y endemicidad de este grupo de vertebrados (Johnson *et al.*, 2017), es uno de los tipos de vegetación con mayores sistemas de aprovechamiento sujetos a diferentes grados de intensidad debido a su valor económico para la producción forestal (Chávez-León y Lemos-Espinal, 2021).

Estas prácticas han causado estragos considerables por la reducción de áreas arboladas en todos los municipios del estado de Tlaxcala, al carecer de un programa de manejo y aprovechamiento sustentable, lo que sitúa a la entidad en el primer lugar a nivel nacional en términos de deterioro ambiental (Espejel, 2007). Esta combinación de hábitats resulta interesante puesto que parecieran ser dos de las comunidades más amenazadas dentro de la entidad, siendo Tlaxcala el cuarto lugar a nivel nacional en contaminación de aguas debido a que gran parte de sus ríos son considerados zonas críticas a causa de su funcionamiento como depósitos de aguas negras (Espejel, 2007).

La situación actual de Tlaxcala en términos de deterioro ambiental repercute en todos los hábitats ocupados por anfibios y reptiles dado que gran parte de sus tipos de vegetación nativa han sido transformados para su uso en actividades agropecuarias, además de un acelerado crecimiento de las zonas urbanas (INEGI, 2015). De acuerdo con Gibbons *et al.* (2000) los anfibios y reptiles son los vertebrados más amenazados en el mundo, debido a su dependencia a microhábitats con características particulares, su sensibilidad a cambios ambientales y su baja vagilidad (Gosh y Basu, 2020). Siendo esta última de gran importancia pues la fragmentación de su hábitat puede segmentar las poblaciones de anfibios y reptiles, ocasionando que la reproducción ocurra entre pocos integrantes de una misma población,

desencadenando la pérdida de la diversidad genética y afectando el tamaño efectivo de la población propiciando la extirpación de poblaciones aisladas (Ramírez-Bautista *et al.* 2021).

Aunado a esto, se ha demostrado que la intensificación y expansión agrícola puede tener un impacto negativo en la diversidad y abundancia de la herpetofauna. No sólo debido a la pérdida de hábitats sino también al uso de pesticidas y plaguicidas que afectan además de la extensión ocupada por los campos agrícolas, los hábitats adyacentes por efecto de la escorrentía o transporte por el viento de estos químicos a cuerpos de agua utilizados por anfibios con fines de reproducción y a sitios con hábitats idóneos para la supervivencia de los reptiles (Gosh y Basu, 2020; Bancila, 2022). Además, recientemente se ha reportado que la remoción de ambientes rocosos con fines agrícolas puede ocasionar la pérdida de diversidad de reptiles, puesto que estos sitios proporcionan a los ectotermos refugios, sitios de anidación y gradientes térmicos que ayudan a mitigar los impactos generados por la tala de la vegetación nativa, condiciones climáticas extremas e incendios (Michael *et al.* 2021).

A pesar de que el presente estudio contrastó con lo mencionado anteriormente, y apoya la hipótesis y predicción planteada en este trabajo sobre el aumento de la diversidad de reptiles en zonas con cambio de uso de suelo al encontrar la mayor riqueza de especies en los campos agrícolas, es necesario reflexionar sobre la situación que aqueja a Tlaxcala, pues la predominancia en extensión territorial de este hábitat con respecto de los demás puede afectar la manera en la cual tanto anfibios como reptiles utilizan los hábitats disponibles. Si bien la diversidad de reptiles puede verse beneficiada debido al aumento de temperaturas en sitios con poca cobertura vegetal, esta tendencia no es general para todas las especies ya que los hábitats alterados podrían fungir como filtros que permitan o no el establecimiento de algunas especies dependiendo del grado de especialización a ciertos hábitats (Aldape-López y Santos-Moreno, 2016).

Por otra parte, a pesar de que, en hábitats perturbados, se concentra la mayor riqueza de reptiles, sus tasas de recambio son relativamente bajas al compartir un gran número de especies generalista con otras comunidades, mientras que no se encuentran especies asociadas a otros tipos de vegetación como los bosques de Pino y Oyamel encontrados a elevaciones mayores. Es probable que estos cambios en la composición de la vegetación estén influyendo en el movimiento de los diferentes taxones, debido a su capacidad para moverse con la

finalidad de acceder a mayores recursos, encontrar pareja o adaptarse a los cambios en su entorno (Pulsford *et al.*, 2008).

Por último, es necesario mencionar que los resultados de esta aproximación deben tratarse con cuidado, de acuerdo con Díaz de la Vega-Pérez *et al.* (2019), el alto recambio taxonómico dentro del Parque Nacional La Malinche, parece ser explicado por un gradiente ambiental generado por el rango altitudinal, de modo que, si consideramos la extensión territorial del hábitat que en este estudio englobamos como “Agricultura”, esta categoría podría contar con diferentes condiciones ambientales que favorezcan la supervivencia de diferentes especies con necesidades específicas, ya que esta categoría incluye campos agrícolas que van desde los 2200 m s.n.m. hasta campos circundantes de bosques de Oyamel por encima de los 3000 m s.n.m., lo que podría explicar su alta riqueza., por lo que resulta importante realizar estudios a una escala más fina que permitan dilucidar la diversidad real de los anfibios y reptiles en los campos agrícolas que ocurren a diferentes elevaciones dentro del estado.

Cabe señalar que el hecho de proponer la conservación de ciertos tipos de vegetación por encima de otros no implica que estos no deban ser conservados o no tengan un valor de importancia para su conservación dentro del estado, en realidad se buscó brindar herramientas cada vez más sólidas que puedan ayudar en la toma de decisiones sobre la gestión y conservación de la mayor diversidad de especies de anfibios y reptiles en uno de los estados con mayor deterioro ambiental del país. Además, es pertinente señalar que estos índices son orientativos y se fortalecen con conocimiento biológico, lo que hace necesario hacer reflexiones sobre situaciones particulares que deben ser consideradas en la toma de decisiones en cuestiones de conservación.



## Conclusiones

- La herpetofauna del Tlaxcala se compone de 47 especies, de las cuales 14 son anfibios y 33 son reptiles.
- Incrementamos la lista taxonómica de reptiles de Tlaxcala, adicionando a las lagartijas *Abronia graminea* y *Siderolamprus legnotus*. Además de las serpientes, *Indotyphlops braminus* y *Thamnophis melanogaster*.
- Tlaxcala es el estado con menor riqueza y diversidad de reptiles (33 especies) en México.
- La diversidad de anfibios en el estado es menor (14 especies) a la reportada en estudios anteriores, lo que sitúa a Tlaxcala como uno de los estados de México menos diversos en anfibios, únicamente por encima de Baja California Sur, Guanajuato, Zacatecas y Aguascalientes.
- Tlaxcala es uno de los estados en los que se ha realizado menos esfuerzo de muestreo, por lo que existe la posibilidad de aumentar la lista taxonómica de la herpetofauna en un futuro.
- La mayor riqueza y diversidad de reptiles se registró en el hábitat Agrícola, seguido del Bosque de Pino, esto coincidió con las predicciones del estudio sobre este grupo de vertebrados. Lo cual se debe a la evidente deforestación de Tlaxcala, cabe destacar que la diversidad de reptiles estuvo representada por especies generalistas con amplias distribuciones en el país.
- La mayor riqueza y diversidad de anfibios se registró en los campos agrícolas, lo cual contrasta con nuestras predicciones sobre este grupo. No obstante, esto podría deberse a la gran extensión territorial de este hábitat en Tlaxcala (82.34%), y a que el agua es un recurso limitado y restringido que se encuentra asociado a los cultivos de manera permanente o temporal. Esto genera refugios naturales o artificiales principalmente para el grupo de los anuros que, en su mayoría, explotaron este hábitat. Sin embargo, cabe mencionar que, si los campos agrícolas se siguen expandiendo, las poblaciones de anfibios podrían estar en peligro de aislamiento reproductivo.
- Los bosques de Pino del estado de Tlaxcala son el tipo de vegetación nativa con la mayor riqueza y diversidad de reptiles y anfibios, lo cual hace imprescindible priorizar su conservación, pues su importancia radica no sólo en el número de especies sino también en la

exclusividad y vulnerabilidad de su composición taxonómica.

- Es importante llevar a cabo acciones para la conservación de los bosques de Oyamel de Tlaxcala, a pesar de ser unos de los tipos de vegetación con menor extensión territorial (0.54%) dentro del estado, presentó las tasas más altas de recambio debido a que albergó el 100 % de los Plethodontidos (cuatro especies), anfibios exclusivos de los bosques templados, con requerimientos ecológicos muy específicos.
- El uso de las nuevas aproximaciones metodológicas en la evaluación de la diversidad confiere ventajas sobre los métodos tradicionales, ya que brindan valores que resumen la contribución real de una comunidad a la diversidad  $\beta$  y este valor puede ser utilizado de manera directa para la toma de decisiones entre comunidades a conservar.
- Es necesario fortalecer las bases de las diferentes medidas de diversidad con conocimiento biológico con la finalidad de brindar mayores herramientas que permitan la toma de decisiones sobre la conservación de los diferentes tipos de vegetación nativos de Tlaxcala.
- Los índices propuestos en este estudio no son mutuamente excluyentes, por lo que su uso como aproximaciones complementarias brinda un panorama más amplio sobre la gestión del manejo de recursos en los diferentes tipos de vegetación de Tlaxcala.
- Es necesario promover estudios dentro del estado a escalas más finas. Por ejemplo, en gradientes de elevación en las montañas, ya que en años recientes se han publicado extensiones de intervalos a mayores elevaciones de algunas especies de lagartijas (Anexo 6), lo que podrían ser potenciales colonizaciones recientes promovidas por el cambio climático global y la modificación de la vegetación nativa.
- Es necesario realizar estudios en los cuales se evalué la riqueza y diversidad de anfibios y reptiles dentro de las zonas agrícolas, pastizales inducidos y zonas urbanas a diferentes elevaciones y se contraste con los tipos de vegetación nativa adyacentes con la finalidad de buscar posibles extirpaciones dentro del estado de Tlaxcala.

## Referencias

- Aguilar MX, Casas-Andreu G, Cárdenas-Ramos PJ, Cantellano E (2009) Análisis espacial y conservación de los anfibios y reptiles del Estado de México. *CIENCIA Ergo Sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva* 16(2):171-180. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10411360008>
- Aguirre-León G (2011) Métodos de estimación captura y contención de anfibios y reptiles. En: Gallina S, López-González C (Eds) *Manual de técnicas para el estudio de la fauna*. Universidad Autónoma de Querétaro-Instituto de Ecología A. C., Querétaro México, 63-84 pp.
- Aldape-López CT, Santos-Moreno A (2016) Efecto del manejo forestal en la herpetofauna de un bosque templado del occidente de Oaxaca México. *Revista de Biología Tropical* 64(3):931-943. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44946472001>
- AmphibiaWeb (2021) AmphibiaWeb University of California, Berkeley, CA, USA. <https://amphibiaweb.org> [Última consulta:01/06/2021]
- Arasa-Gisbert R, Arroyo-Rodríguez V, Andresen E (2021) El debate sobre los efectos de la fragmentación del hábitat: causas y consecuencias. *Ecosistemas* 30(3): 2156. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2156>
- Badillo-Saldaña LM, Ramírez-Bautista A, Lara-Tufiño D, Berriozábal-Islas C (2015) Diversity and conservation status of the herpetofauna for an area from north of Hidalgo Mexico. *Cuadernos de Herpetología* 29(2): 131-139. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-57682015000200003&lng=es&tlng=en](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-57682015000200003&lng=es&tlng=en).
- Balderas-Valdivia CJ, González-Hernández A (2021) Inventario de la herpetofauna de México 2021. *Herpetología Mexicana* 2: 10-71. [https://www.herpetologiamexicana.org/wp-content/uploads/2022/01/HM\\_2021\\_2\\_10-71.pdf](https://www.herpetologiamexicana.org/wp-content/uploads/2022/01/HM_2021_2_10-71.pdf)
- Bancila R, Lattuada M, Sillero N (2022) Distribution of Amphibians and Reptiles in Agricultural Landscape Across Europe. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1438541/v1>
- Barley AJ, Nieto-Montes de Oca A, Reeder TW, Manríquez-Morán NL, Arenas-Monroy JC, Hernández-Gallegos O, Thomson RC (2019) Complex patterns of hybridization and

introgression across evolutionary timescales in Mexican whiptail lizards (*Aspidoscelis*).  
Molecular Phylogenetics and Evolution 132:284-295.  
<https://doi.org/10.1016/j.ympev.2018.12.016>

Baselga A, Orme CDL (2012) betapart: an R package for the study of beta diversity. *Methods in Ecology and Evolution* 808–812. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00224.x>

Baselga A (2012) The relationship between species replacement dissimilarity derived from nestedness, and nestedness. *Global Ecology and Biogeography* 19(1):1223-1232.  
<https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00756.x>

Calderón-Mandujano RR, Galindo-Leal C, Cedeño-Vázquez JR (2008) Utilización de hábitat por reptiles en estados sucesionales de selvas tropicales de campeche México. *Acta Zoológica Mexicana* 24(1): 95-114. <https://doi.org/10.21829/azm.2008.241626>

Calderón-Patrón JM, Moreno CE (2019). Diversidad beta como disimilitud: su partición en componentes de recambio y diferencias en riqueza. En: Moreno CE (Ed) *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex, CDMX, 203-222 pp.

Cardozo J, Caraballo P (2017) Fauna anura (Amphibia: Anura) asociada a jagüeyes en dos localidades de la región Caribe colombiana. *Revista Colombiana De Ciencia Animal - RECIA* 9(1):39–47. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.nS.2017.519>

Casas-Andreu G, Valenzuela-López G, Ramírez-Bautista A (1991) *Cómo hacer una colección de anfibios y reptiles*. Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México, 68 pp.

Castillejos-Cruz C (1992) *Florística y vegetación del estado de Tlaxcala*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México.  
<https://repositorio.unam.mx/contenidos/178984>

Challenger A, Soberón J (2008) Los ecosistemas terrestres. En: *Capital natural de México*. Vol. I; Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México. 87-108.

Chao A, Colwell RK, Chiu C, Townsend D (2017) Seen once or more than once: applying Good-Turing theory to estimate species richness using only unique observations and a species list, *Methods in Ecology and Evolution* 8:1221-1232. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12768>

Chávez-León G, Lemos-Espinal JA (2021) Anfibios y reptiles de bosques de coníferas bajo manejo silvicultural. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro

Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, CDMX, México, 73 pp.

CONABIO [Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad] (2022) Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Registros de ejemplares. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.

Cruz-Aviña JR, Tenorio-Arvide MG, Valera Pérez MÁ, Cruz-Alcocer G (2021) Herpetofauna monitoring as a conservation strategy for biodiversity in the municipality of Izucar de Matamoros Puebla. *Mix-Tec* 1(2):24-31.

Cruz-Elizalde R, Ramírez-Bautista A (2017) Principales amenazas para la biodiversidad y perspectivas para su manejo y conservación en el estado de Hidalgo; El caso de los anfibios y reptiles. En: Ramírez-Bautista A, Sánchez-González A, Sánchez-Rojas G, Cuevas-Cardona C (Eds.) Biodiversidad del estado de Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca de Soto Hidalgo, 607-622. <https://doi.org/10.29057/books.32>

Cuevas A (2004) Propuesta de unidades de paisaje para un ordenamiento territorial en el Estado de Tlaxcala. Tesis de Maestría en Análisis Regional, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala, México.

Damián-Huato MA, Ramírez-Valverde M, Aragón-García A, Huerta-Lara M, Sangerman-Jarquín DM, Romero-Arenas O (2010) Manejo del maíz en el estado de Tlaxcala México: entre lo convencional y lo agroecológico. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 6(2):67-76. <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/184>

Del Moral-Flores LF, Pérez-Díaz J, López-Segovia E, Hernández-Arellano T (2021) First report of amelanism in *Ambystoma velasci* Dugès, 1888 (Caudata: Ambystomatidae) from central Mexico. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 5(1):98-100. <https://doi.org/10.22201/fc.25942158e.2022.1.272>

Dixon JR, Lemos-Espinal JA (2010) Anfibios y Reptiles del Estado de Querétaro, México/Amphibians and Reptiles of the State of Querétaro, México. CONABIO, México, 428 pp.

Díaz de la Vega-Pérez AH, Jiménez-Arcos VH, Centenero-Alcalá E, Méndez-de la Cruz FR, Ngo A (2019) Diversity and conservation of amphibians and reptiles of a protected and heavily disturbed forest of central Mexico. *ZooKeys* 830: 111–125.

<https://doi.org/10.3897/zookeys.830.31490>

Díaz de la Vega-Pérez AH, Ramírez-Icaza O, Gómez-Campos JE, Lara-Resendiz RA, Domínguez-Godoy MA (2022) New highest elevation records of two Mexican endemic spiny lizards: *Sceloporus megalepidurus* and *Sceloporus spinosus* (Squamata: Phrynosomatidae). *Revista Latinoamericana de Herpetología* 5(4):6-10.

<https://doi.org/10.22201/fc.25942158e.2022.4.523>

Duifhuis-Rivera C, García-Vázquez UO (2010) Geographic distribution: *Lithobates montezumae*. *Herpetological Review* 41(4): 507-508.

Escalante T (2003) ¿Cuántas especies hay? Los estimadores no paramétricos de Chao. *Elementos: ciencia y cultura* 52:53-56. <https://elementos.buap.mx/post.php?id=465>

Espejel A, González IM, Perón E (2004) El índice de deterioro ambiental en los municipios de Tlaxcala: una propuesta metodológica. *Gaceta Ecológica* 70: 19-30.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2882570>

FAO (2005) Food and Agriculture Organization of the United Nations <https://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/506436/>

Feldman CR, Flores-Villela OA, Papenfuss TJ (2011). Phylogeny, biogeography, and display evolution in the tree and brush lizard genus *Urosaurus* (Squamata: Phrynosomatidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 61:714-725.

Fernández JA, Sánchez O, Flores-Villela O (2006a). Anfibios y reptiles del estado de Tlaxcala. En: Ramírez-Bautista L, Canseco-Márquez L, Mendoza-Quijano F (Eds.). *Inventarios herpetofaunísticos de México: avances en el conocimiento de su biodiversidad*. Publicaciones de la Sociedad Herpetológica Mexicana. México, 224-240.

Fernández JA, Sánchez O, Flores-Villela OA (2006b) New records of amphibians and reptiles from Tlaxcala México. *Acta Zoológica Mexicana* 22(3):159-162.

<https://doi.org/10.21829/azm.2006.2232033>

Fernández JA, Windfield-Pérez JK, Corona MC (2007) Tlaxcala. En: Ortiz-Pulido R, Navarro-Sigüenza A, Gómez de Silva H, Rojas-Soto O, Peterson TA (Eds.) *Avifaunas Estatales de México*. CIPAMEX, Pachuca, México, 137- 164. <https://cipamex.org/publicaciones/avifaunas-estatales/>

Finkelievich S, Fischnaller C (2014) *Ciencia ciudadana en la Sociedad de la Información: nuevas*

tendencias a nivel mundial. Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad 9(27):11-31. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92431880001>

Flores-Villela O, Gerez P (1994) Biodiversidad y Conservación en México: Vertebrados Vegetación y Uso del Suelo. CONABIO-UNAM, México, 439 pp. [https://www.researchgate.net/publication/286335277 Biodiversidad y conservacion en Mexico vertebrados vegetacion y uso del suelo](https://www.researchgate.net/publication/286335277_Biodiversidad_y_conservacion_en_Mexico_vertebrados_vegetacion_y_uso_del_suelo)

Flores-Villela O, Canseco-Márquez L, Ochoa-Ochoa LM (2010) Geographic distribution and conservation of the Mexican central highlands herpetofauna. En: Wilson LD, Townsend JH, Johnson JJ (Eds) Conservation of Mesoamerican Amphibians and Reptiles. Eagle Mountain Publications, China, 302–321.

Flores-Villela O, García-Vázquez UO (2014) Biodiversidad de reptiles en México. Revista Mexicana de Biodiversidad 85:467-475. <https://doi.org/10.7550/rmb.43236>

García-Vázquez UO, Trujano-Ortega M (2012) Nuevos registros de *Eleutherodactylus nitidus* (Anura: Eleutherodactylidae) en Tlaxcala y centro de Puebla, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 83:856-858.

Gardner TA, Barlow J, Peres CA (2007) Paradox presumption and pitfalls in conservation biology: the importance of habitat change for amphibians and reptiles. Biological Conservation 138:166-179. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.04.017>

GBIF (2022) *Urosaurus*, GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.43xxsq> (última consulta: 04/07/2022).

Gibbons J, Scott DE, Ryan TJ, Buhlmann KA, Tuberville TD, Metts BS, Greene JL, Mills T, Leiden Y, Poppy S, Wiene C (2000) The Global Decline of Reptiles, Déjà Vu Amphibians. BioScience 50: 653-666. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0653:TGDORD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0653:TGDORD]2.0.CO;2)

González-Hernández A, Moro-Hernández DM, Cruz JA (2016) Distribución y uso de hábitat de *Thamnophis pulchrilatus* (Cope, 1855) en Chignahuapan, Puebla, México. Acta Zoológica Mexicana 32(3):390-392. <https://doi.org/10.21829/azm.2016.323975>

González-Oreja JA, De la Fuente-Díaz-Ordaz AA, Hernández-Santín L, Buzo-Franco D, Bonache-Regidor C (2010) Evaluación de estimadores no paramétricos de la riqueza de especies. Un ejemplo con aves en áreas verdes de la ciudad de Puebla México. Animal Biodiversity and

- Conservation 33(1): 31–45. <https://doi.org/10.32800/abc.2010.33.0031>
- Ghosh D, Basu P (2020) Factors influencing herpetofauna abundance and diversity in a tropical agricultural landscape mosaic. *Biotropica* 52(5): 927–937. <https://doi.org/10.1111/btp.12799>
- Halffter G, Moreno CE (2005) Significado biológico de las diversidades alfa beta y gamma pp. 5-18. En: Halffter G, Soberón J, Koleff P, Melic A (Eds.) *Sobre Diversidad Biológica: el significado de las diversidades alfa beta y gamma*. M3m-Monografías Tercer Milenio, Zaragoza, España, 5-18. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442006001000015&lng=es&nrm=iso](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006001000015&lng=es&nrm=iso)
- Hammer Ø Harper DAT Ryan PD (2001) PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 1–9.
- INEGI, CONAFOR, CONABIO, SEMARNAT (2015) Mapa nacional de referencia, cobertura de suelo, 1:20000. Cobertura de Suelo en Hectáreas: Mapa Base MAD-Mex. [https://monitoreo.conabio.gob.mx/snmb\\_charts/descarga\\_datos\\_madmex.html](https://monitoreo.conabio.gob.mx/snmb_charts/descarga_datos_madmex.html)
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática] Gobierno del Estado de Tlaxcala (2015) Anuario estadístico de Tlaxcala, INEGI, México, 527 pp.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática] (2021) Tlaxcala. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen\\_29.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_29.pdf)
- IUCN (2018) The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-1. <http://www.iucnredlist.org>
- Jiménez-Sierra CL, Sosa-Ramírez J, Cortés-Calva P, Solís-Cámara AB, Íñiguez-Dávalos LI, Ortega-Rubio A (2014) México país megadiverso y la relevancia de las áreas naturales protegidas. *Investigación y Ciencia* 22(60):16-22. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67431160003>
- Johnson JD, Wilson LD, Mata-Silva V, García-Padilla E, DeSantis DL. 2017. The endemic herpetofauna of Mexico: organisms of global significance in severe peril. *Mesoamerican Herpetology* 4: 543–620.
- Jorge-Lara GO (2013) Zonas prioritarias de conservación biológica a partir del análisis espacial de la herpetofauna de los estados de Puebla y Tlaxcala. Tesis de licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.
- Koleff P, Soberón J (2008) Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies. In: *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO,



México,

323–364.

[http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20I/I12\\_Patronesdiv.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20I/I12_Patronesdiv.pdf)

Leija-Loredo EG (2016) La deforestación en México: causas y efectos socioecológicos. *Herreriana* 1:3-4.

Leitner W, Turner WR (2001) Measurement and analysis of biodiversity. En: Levin SA (Ed) *Encyclopedia of Biodiversity*. Academic Press, Princeton, 123-144.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00093-9>

Liner EA, Whitten R (1979) *Bufo compactilis*. Tlaxcala: México. *Herpetological Review* 7(4):177.

López-Domínguez JC, Acosta-Pérez R, Sánchez-Hernández AI (2005) Plantas. en: Fernández-Fernández J, López-Domínguez J (Eds) *Biodiversidad del Parque Nacional Malinche*, Tlaxcala México. Coordinación General de Ecología Estado de Tlaxcala, México, 73-10.

López-Vidal JC (2021) Computarización de las colecciones de vertebrados terrestres de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas IPN Fase 1: Estado de México Hidalgo San Luis Potosí y Tlaxcala. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/erjmth> accessed via GBIF.org on 2021-11-01

Magurran AE (1988) *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.

Magurran AE (2004) *Measuring biological diversity*. Blackwell Science Ltd., Oxford, UK, 256 pp.

Méndez-de la Cruz FR, Díaz de la Vega-Pérez AH, Centenero-Alcalá E, Jiménez-Arcos V (2018) *Anfibios y Reptiles del Parque Nacional la Malinche*. Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala, México, 138 pp.

Michael DR, Moore H, Wassens S, Craig MD, Tingley R, Chapple DG, Sullivan JO', Hobbs RJ, Nimmo DG (2021) Rock removal associated with agricultural intensification will exacerbate the loss of reptile diversity. *Journal of Applied Ecology* 00:1-9. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13897>

Moreno CE (2001) *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T-Manuales y Tesis SEA. Zaragoza, España, 84 pp.  
[https://www.researchgate.net/publication/304346666\\_Metodos\\_para\\_medir\\_la\\_biodiversidad](https://www.researchgate.net/publication/304346666_Metodos_para_medir_la_biodiversidad)

Moreno CE, Barragán F, Pineda E, Pavón NP (2011) Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas, *Revista Mexicana de*

- Biodiversidad 92:1249-1261. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.4.745>
- Naturalista (2021) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. [https://www.naturalista.mx/observations/export?quality\\_grade=anyyidentifications=anyygeoprivacy=openyplace\\_id=6793yverifiable=trueyprojects%5B%5D=anfibios-y-reptiles-de-tlaxcala](https://www.naturalista.mx/observations/export?quality_grade=anyyidentifications=anyygeoprivacy=openyplace_id=6793yverifiable=trueyprojects%5B%5D=anfibios-y-reptiles-de-tlaxcala)
- Ochoa-Ochoa LM, Flores-Villela OA (2006) Áreas de diversidad y endemismo de la herpetofauna mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México-CONABIO, CDMX, México, 211 pp. [https://www.researchgate.net/publication/261843150\\_Areas\\_de\\_Diversidad\\_y\\_Endemismo\\_de\\_la\\_Herpetofauna\\_Mexicana/citations](https://www.researchgate.net/publication/261843150_Areas_de_Diversidad_y_Endemismo_de_la_Herpetofauna_Mexicana/citations)
- Palacio AV (2017) Implementación de sistemas de información geográfica en la gestión de espacios protegidos. Tesis doctoral. Universitat Rovira I Vorgili, Cataluña, España.
- Palmeirim AF, Vieira MV, Peres CA (2017) Herpetofaunal responses to anthropogenic forest habitat modification across the neotropics: insights from partitioning  $\beta$ -diversity. *Biodiversity and Conservation* 26:2877-2891. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1394-9>
- Pardini R, Nichols E, Püttker T (2017) Biodiversity response to habitat loss and fragmentation. En: Dellasala DA, Goldstein MI (Eds) *Encyclopedia of the Anthropocene*. Elsevier, Ámsterdam, Países Bajos. 229-239. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09824-4>
- Parra-Olea G, García-París M, Papenfuss TJ, Wake DB (2005) Systematics of the *Pseudoeurycea bellii* (Caudata: Plethodontidae) species complex. *Herpetologica* 61(2):145–158. <https://doi.org/10.1655/03-02>
- Parra-Olea G, Flores-Villela O (2014) Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 460–466. <https://doi.org/10.7550/rmb.32027>
- Parra Olea G, Garcia-Castillo MG, Rovito SM, Maisano JA, Hanken J, Wake DB (2020) Descriptions of five new species of the salamander genus *Chiropterotriton* (Caudata: Plethodontidae) from eastern Mexico and the status of three currently recognized taxa. *PeerJ* 8:e8800. <https://doi.org/10.7717/peerj.8800>
- Plascencia RL, Castañón BA, Raz-Guzmán A (2011) La biodiversidad en México: su conservación y las colecciones biológicas. *Revista Ciencias* 101:36-43. <https://www.revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/26594>
- Pérez-Díaz J, López-Segovia E, Hernández-Arellano T, Del Moral-Flores LF (2020) An additional population of the plateau tiger salamander, *Ambystoma velasci* (dugès, 1888) (caudata:

Ambystomatidae) in Tlaxcala, Mexico. *Árido-Ciencia* 5(2):31-34.  
[https://www.researchgate.net/publication/347766607\\_Una\\_poblacion\\_adicional\\_del\\_Ajolote\\_del\\_Altiplano\\_Ambystoma\\_velasci\\_Duges\\_1888\\_Caudata\\_Ambystomatidae\\_en\\_Tlaxcala\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/347766607_Una_poblacion_adicional_del_Ajolote_del_Altiplano_Ambystoma_velasci_Duges_1888_Caudata_Ambystomatidae_en_Tlaxcala_Mexico)

- Pulsford SA, Barton PS, Driscoll DA, Kay GM, Lindenmayer DB (2018) Reptiles and frogs use most land cover types as habitat in a fine-grained agricultural landscape. *Austral Ecology* 43:502–513. <https://doi.org/10.1111/aec.12587>
- Ramamoorthy TP, Bay R, Lot A, Fa J (1998) *Diversidad Biológica de México: Orígenes y distribución*. Instituto de Biología-Universidad Nacional Autónoma de México, México, 792 pp.
- Ramírez-Bautista A, Hernández-Salinas U, García-Vázquez UO, Leyte A, Canseco-Márquez L (2009) *Herpetofauna del Valle de México, diversidad y conservación*. CONABIO, Universidad Autónoma de Hidalgo, México, 213 pp.
- Ramírez-Bautista A, Hernández-Salinas U, Cruz-Elizalde R, Berriozabal-Islas C, Lara-Tufiño D, Goyenechea Mayer-Goyeneche I, Castillo-Cerón JM (2014) *Los Anfibios y Reptiles de Hidalgo, México: Diversidad, Biogeografía y Conservación*. Sociedad Herpetológica Mexicana, A.C. Pachuca de Soto, Hidalgo, 387 pp.
- Ramírez-Bautista A, Hernández-Salinas U, Cruz-Elizalde R, Berriozabal-Islas C (2021) Factores que amenazan la biodiversidad de anfibios y reptiles. En: *La biodiversidad en Hidalgo. Estudio de Estado*. CONABIO, México, 411-420.
- Sánchez-de Tagle (1978) *Contribución al conocimiento de la fauna herpetológica del Parque Nacional La Malinche*. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX.
- Sánchez-Herrera O (1980) *Diagnosic preliminar de la herpetofauna de Tlaxcala*. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX.
- Sánchez-Herrera O, López-Ortega G (1987) Noteworthy records of amphibians and reptiles from Tlaxcala, México. *Herpetological Review* 18: 41.
- Sánchez-Aguilar C (2005) Anfibios y reptiles. En: Fernández-Fernández J, López-Domínguez J (Eds) *Biodiversidad del Parque Nacional Malinche, Tlaxcala México*. Coordinación General de Ecología Estado de Tlaxcala, México, 101–113.

- Sánchez-Luna M, Ramírez-Icaza O, Díaz de la Vega-Pérez AH (en prensa) *Indotyphlops braminus* (Squamata: Typhlopidae). Revista Latinoamericana de Herpetología.
- Sánchez-Soto S (2016) Primer registro de *Urosaurus bicarinatus* (Squamata: Phrynosomatidae) en la Reserva de la Biósfera Selva El Ocote, Chiapas, México. Poeyana 502:47-48.
- Schlaepfer MA, Gavin TA (2001) Edge effects on lizards and frogs in tropical forest fragments. Conservation Biology 15:1079-1090. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.0150041079.x>
- SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales] (2018) Programa de Acción para la Conservación de las Especies: Serpientes de Cascabel (*Crotalus* spp.). <https://www.gob.mx/conanp/documentos/programa-de-accion-para-la-conservacion-de-la-especie-pace-serpientes-de-cascabel-crotalus-spp?state=published>
- SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales] (2010) Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, protección ambiental de especies nativas de México de flora y fauna silvestre-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión, o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación (Segunda Sección, 30-dic), 77 pp. [http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM\\_059\\_SEMARNAT\\_2010.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf)
- Stuart SN, Hoffmann M, Chanson J, Cox NA, Berridge RJ, Ramani P, Young BE (2008) Threatened Amphibians of the World. Lynx Editions, Barcelona, España, 777 pp.
- Swing K, Denkinger J, Carvajal V, Encalada A, Silva X, Coloma LA, Guerra JF, Campos-Yáñez F, Zak V, Riera P, Rivadeneira JF, Valdebenito H (2014) Las colecciones científicas: percepciones y verdades sobre su valor y necesidad. Revista Bitácora Académica USFQ 1:1-46. <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/bitacora/article/view/1083>
- Uetz P, Freed P, Aguilar R, Hošek J (2021) The Reptile Database, <http://www.reptile-database.org>, (Última consulta:01/09/2022).
- UNEP (1992) Convention on biological diversity. United Nations Environmental Program, Environmental Law and Institutions Program Activity Centre. Nairobi.
- Vite-Silva VD, Ramírez-Bautista A, Hernández-Salinas U (2010) Diversidad de anfibios y reptiles de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán Hidalgo México. Revista Mexicana de Biodiversidad 81(2):473-485. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2010.002.237>

- Vitt LJ, Caldwell JP (2014) Herpetology: An introductory biology of amphibians and reptiles (4a edición). Academic Press, San Diego, 757 pp. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-67152-5>
- Wilson LD, Mata-Silva V y Johnson JD (2013a) A conservation reassessment of the reptiles of Mexico based on the EVS measure. *Amphibians and Reptiles Conservation* 7(1):1-47. [http://amphibian-reptile-conservation.org/pdfs/Volume/Vol\\_7\\_no\\_1/Special\\_Mexico\\_Issue\\_ARC\\_7\\_1\\_97-127\\_e69\\_high\\_res.pdf](http://amphibian-reptile-conservation.org/pdfs/Volume/Vol_7_no_1/Special_Mexico_Issue_ARC_7_1_97-127_e69_high_res.pdf)
- Wilson LD, Mata-Silva V y Johnson JD (2013b) A conservation reassessment of the amphibians of Mexico based on the EVS measure. *Amphibians and Reptiles Conservation* 7(1):97-127. [http://amphibian-reptile-conservation.org/pdfs/Volume/Vol\\_7\\_no\\_1/Special\\_Mexico\\_Issue\\_ARC\\_7\\_1\\_1-47\\_e61\\_high\\_res.pdf](http://amphibian-reptile-conservation.org/pdfs/Volume/Vol_7_no_1/Special_Mexico_Issue_ARC_7_1_1-47_e61_high_res.pdf)



## Anexos

### Anexo 1- Desarrollo del $\text{ICD-}\beta$ con múltiples sitios.

A continuación, se ejemplifica un caso hipotético con cinco sitios, cada uno con diferente composición taxonómica, los Sitios 1, 2 y 3 cuentan con dos especies, el Sitio 4 con tres especies y, por último, el Sitio 5 con cuatro especies (Cuadro 16).

Cuadro 16. Ejemplo hipotético de la composición taxonómica de diferentes sitios para explicar el índice de Contribución de la Diversidad  $\beta$  (ICD-  $\beta$ ).

Especie	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
Sp1	x		x	x	x
Sp2					x
Sp3	x	x		x	x
Sp4		x			
Sp5			x		x
Sp6				x	

Si se realizan los cálculos del índice de disimilitud de Jaccard, con base en el procedimiento propuesto por Baselga (2012), únicamente se seleccionarían para conservar los dos sitios con el mayor índice de disimilitud y con la mayor tasa de recambio (Calderón-Patrón y Moreno, 2019). Por lo tanto, se seleccionarían los Sitios 2 y 3. No obstante, se estarían conservando únicamente 4 de las 6 especies totales en el estudio (Cuadro 16 y 17).

Cuadro 17. Matriz de disimilitud del procedimiento de Baselga (2012) basado en el índice de disimilitud de Jaccard a partir del ejemplo hipotético.

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
Sitio 1	0				
Sitio 2	0.66	0			
Sitio 3	0.66	1	0		
Sitio 4	0.33	0.75	0.75	0	

Sitio 5	0.5	0.8	0.5	0.6	0
---------	-----	-----	-----	-----	---

A continuación, se calculó la tasa de recambio para cada una de las interacciones entre sitios (Cuadro 18).

Cuadro 18. Matriz de Recambio entre comunidades, es decir, la proporción de la disimilitud debida al reemplazo de especies entre los diferentes sitios del ejemplo hipotético.

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
Sitio 1	0				
Sitio 2	0.66	0			
Sitio 3	0.66	1	0		
Sitio 4	0	0.66	0.66	0	
Sitio 5	0	0.66	0	0.5	0

El cuadro 19 muestra el cálculo de la proporción de la diversidad  $\beta$  debida al anidamiento entre cada uno de los sitios, es decir, la diferencia en riqueza.

Cuadro 19. Matriz de Anidamiento, definida como la proporción de la disimilitud debida a la diferencia en riqueza de especies entre las comunidades del ejemplo hipotético.

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
Sitio 1	0				
Sitio 2	0	0			
Sitio 3	0	0	0		
Sitio 4	0.33	0.08	0.08	0	
Sitio 5	0.5	0.13	0.5	0.1	0

Las matrices obtenidas en los cuadros 18 y 19, permitieron realizar el cálculo del  $\text{ÍCD-}\beta$  sumando la proporción de la disimilitud originada por la diferencia en riqueza (anidamiento) a la contribución debida al recambio del sitio con mayor número de especies. Mientras que el sitio con menor riqueza se mantuvo únicamente con la proporción contribuida al recambio. El



cuadro 20 muestra los valores obtenidos después de la adición de la diferencia en riqueza.

Cuadro 20. Matriz de resultados del  $\overline{\text{ÍCD-}\beta}$  de la interacción de los diferentes sitios en el ejemplo hipotético.

	$\overline{\text{ÍCD-}\beta(A)}$		$\overline{\text{ÍCD-}\beta(B)}$
Sitio 1	0.33	Sitio2	0.33
Sitio 1	0.33	Sitio3	0.33
Sitio 1	0	Sitio4	0.33
Sitio 1	0	Sitio5	0.5
	$\overline{\text{ÍCD-}\beta(A)}$		$\overline{\text{ÍCD-}\beta(B)}$
Sitio 2	0.5	Sitio3	0.5
Sitio 2	0.33	Sitio4	0.41
Sitio 2	0.33	Sitio5	0.46
	$\overline{\text{ÍCD-}\beta(A)}$		$\overline{\text{ÍCD-}\beta(B)}$
Sitio 3	0.33	Sitio4	0.41
Sitio 3	0	Sitio5	0.5
	$\overline{\text{ÍCD-}\beta(A)}$		$\overline{\text{ÍCD-}\beta(B)}$
Sitio 4	0.25	Sitio5	0.35

En el siguiente paso se promediaron los valores obtenidos en cada una de las interacciones pareadas (Cuadro 21), a este valor se le denomina Índice de Contribución a la Diversidad  $\beta$  ( $\overline{\text{ÍCD-}\beta}$ ).

Cuadro 21. Promedio del  $\overline{\text{ÍCD-}\beta}$  calculado para los diferentes sitios del ejemplo hipotético.

Sitio	Promedio del $\overline{\text{ÍCD-}\beta}$
Sitio 1	0.16
Sitio 2	0.37
Sitio 3	0.29
Sitio 4	0.35

Sitio 5	0.45
---------	------

A continuación, se ordenaron los sitios de manera descendente, comenzando con el sitio con la mayor contribución a la diversidad  $\beta$ . Esto con la finalidad de realizar una curva de acumulación de especies potencialmente protegidas basada en el número de especies exclusivas de cada uno de los sitios (Cuadro 22).

Cuadro 22. Sitios hipotéticos ordenados de la mayor a la menor contribución a la diversidad  $\beta$ . La columna de acumulación presenta las especies exclusivas sumadas a las especies de la comunidad con el mayor  $\text{ÍCD-}\beta$ .

Sitio	Promedio ( $\text{ICD-}\beta$ )	Especies exclusivas	Acumulación de especies residentes
Sitio 5	0.45	4	4
Sitio 4	0.35	1	5
Sitio 2	0.37	1	6
Sitio 3	0.29	0	6
Sitio 1	0.16	0	6

De esta manera, se llevó a cabo una elección de aquellos sitios con los valores más altos en el  $\text{ÍCD-}\beta$  y el número de especies exclusivas, las cuales contribuyeron al aumento de la diversidad. Con base en este índice, los sitios seleccionados para la conservación serían el sitio 5, 4 y 2, conservando así la mayor cantidad de especies, que en este caso hipotético representaron el total de las especies involucradas en el estudio.

Anexo 2- Desarrollo del ÍCPD- $\beta$  con múltiples sitios.

Se desarrolló esta aproximación con múltiples sitios calculando los ÍCPD- $\beta$  para los diferentes sitios del ejemplo hipotético utilizado en el cálculo del ÍCD- $\beta$  (Cuadro 23). Para el cálculo de los ÍCPD- $\beta$  se utilizaron los valores ponderados por vulnerabilidad de las especies del cuadro 2.

Cuadro 23. Valores ponderados por vulnerabilidad obtenidos a partir del promedio de las puntuaciones en IUCN, EVS, NOM-059-SEMARNAT-2010 utilizando el caso hipotético de la aproximación anterior (ÍCD- $\beta$ ).

Especie	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
Sp 1	1.66		1.66	1.66	1.66
Sp 2					1.66
Sp 3	2.66	2.66		2.66	2.66
Sp 4		1			
Sp 5			1.33		1.33
Sp 6				3.33	

Se realizaron los cálculos de los ÍCPD- $\beta$  por pares para generar una matriz con todas las interacciones entre los diferentes sitios (Cuadro 24).

Cuadro 24. Matriz del Índice de Contribución Ponderada de la Diversidad  $\beta$  (ÍCPD- $\beta$ ). El índice fue calculado para cada uno de los sitios involucrados en las diferentes interacciones pareadas.

Matriz de los ÍCPD- $\beta$ del caso hipotético						ÍCPD- $\beta$	ÍCPD- $\beta$
		a	b	c	a+b+c	(A)	(B)
Sitio 1	Sitio 2	1.66	1.00	2.66	5.32	0.31	0.19
Sitio 1	Sitio 3	2.66	1.33	1.66	5.65	0.47	0.24
Sitio 1	Sitio 4	0.00	3.33	4.32	7.65	0.00	0.44
Sitio 1	Sitio 5	0.00	2.99	4.32	7.31	0.00	0.41
Sitio 2	Sitio 3	3.66	2.99	0.00	6.65	0.55	0.45
Sitio 2	Sitio 4	1.00	4.99	4.32	10.31	0.10	0.48
Sitio 2	Sitio 5	0.00	4.99	2.66	7.65	0.00	0.65

Sitio 3	Sitio 4	1.33	5.99	1.66	8.98	0.15	0.67
Sitio 3	Sitio 5	0.00	4.32	2.99	7.31	0.00	0.59
Sitio 4	Sitio 5	3.33	2.99	4.32	10.64	0.31	0.28

Los valores obtenidos del ÍCPD- $\beta$  de los diferentes sitios en cada una de las interacciones fueron promediados para llevar a cabo las comparaciones entre los sitios con base en un valor de vulnerabilidad de las especies, a este valor se le denominó “promedio del índice de contribución ponderado de la diversidad  $\beta$ ” (Cuadro 25) y su importancia radicó no sólo en el número de especies que componen a cada una de las comunidades si no la relevancia de su composición taxonómica en términos de conservación.

Cuadro 25. Promedio del ÍCPD- $\beta$ . Las comparaciones y toma de decisiones en términos de conservación estarían ocurriendo con estos valores.

Sitios	Promedio del índice de contribución ponderado de la diversidad $\beta$ (ÍCPD- $\beta$ )
Sitio 1	0.19
Sitio 2	0.20
Sitio 3	0.20
Sitio 4	0.47
Sitio 5	0.48

Por último, los promedios fueron colocados de manera descendente comenzando con el sitio con el mayor ÍCPD- $\beta$ , posteriormente se realizó una tabla de acumulación de especies exclusivas aportadas por cada uno de los sitios (Cuadro 26). Con base en este índice, los sitios seleccionados para conservar fueron los Sitios 5, 4 y 2, ya que estos albergaron la mayor riqueza de especies y la mayor cantidad de especies con altos puntajes en las categorías con mayor vulnerabilidad, que en el caso hipotético fue el total de las especies involucradas.

Cuadro 26. Acumulación de especies exclusivas a partir de los promedios del  $\bar{I}CPD-\beta$ . La adición de las nuevas especies ocurre de manera descendente, las nuevas especies exclusivas se adicionan a las especies de los sitios con el mayor  $\bar{I}CPD-\beta$ .

Sitios	Promedio $\bar{I}CPD-\beta$	Especies Exclusivas	Acumulación de especies exclusivas
Sitio 5	0.48	4	4
Sitio 4	0.47	1	5
Sitio 2	0.20	1	6
Sitio 3	0.20	0	6
Sitio 1	0.19	0	6

Anexo 3. Listas taxonómicas de anfibios y reptiles para el estado de Tlaxcala.

Lista taxonómica de anfibios para el estado de Tlaxcala.

**CLASE AMPHIBIA**

**ORDEN CAUDATA**

**Familia Ambystomatidae**

*Ambystoma velasci* Dugès, 1888

**Familia Plethodontidae**

*Aquiloerycea cephalica* (Cope, 1865)

*Chiropterotriton orculus* (Cope, 1865)

*Pseudoeurycea gadovii* (Dunn, 1926)

*Pseudoeurycea leprosa* (Cope, 1869)

**ORDEN ANURA**

**Familia Eleutherodactylidae**

*Eleutherodactylus nitidus* (Peters, 1870)

**Familia Hylidae**

*Dryophytes arenicolor* (Cope, 1866)

*Dryophytes eximius* (Baird, 1854)

*Dryophytes plicatus* (Brocchi, 1877)

**Familia Ranidae**

*Rana montezumae* (Baird, 1854)

*Rana spectabilis* (Hillis y Frost, 1985)

**Familia Scaphiopodidae**

*Spea multiplicata* (Cope, 1863)

**Familia Bufonidae**

*Anaxyrus compactilis* (Wiegmann, 1833)

*Incilius occidentalis* (Camerano, 1879)

Lista taxonómica de los reptiles para el estado de Tlaxcala.

## **SQUAMATA**

### **Familia Anguidae**

*Abronia graminea* (Cope, 1864)

*Barisia imbricata* (Wiegmann, 1828)

### **Familia Diploglossidae**

*Siderolamprus legnotus* (Campbell y Camarillo, 1994)

### **Familia Phrynosomatidae**

*Phrynosoma orbiculare* (Linnaeus, 1758)

*Sceloporus aeneus* Wiegmann, 1828

*Sceloporus bicanthalis* Smith, 1937

*Sceloporus grammicus* Wiegmann, 1828

*Sceloporus megalepidurus* Smith, 1934

*Sceloporus mucronatus* Cope, 1885

*Sceloporus scalaris* Wiegmann, 1828

*Sceloporus spinosus* Wiegmann, 1828

*Sceloporus torquatus* Wiegmann, 1828

### **Familia Teiidae**

*Aspidozelis costata* (Cope, 1878)

### **Familia Scincidae**

*Plestiodon brevirostris* (Günther 1860)

*Plestiodon copei* (Taylor, 1933)

*Plestiodon lynxe* (Wiegmann, 1834)

### **Familia Colubridae**

*Conopsis lineata* (Kennicott, 1859)

*Pituophis deppei* (Duméril, 1853)

*Salvadora bairdi* Jan, 1860

### **Familia Elapidae**

*Micrurus tener* Baird y Girard, 1853

### **Familia Natricidae**

*Thamnophis eques* (Reuss, 1834)

*Thamnophis cyrtopsis* (Kennicott, 1860)

*Thamnophis melanogaster* (Peters, 1864)

*Thamnophis pulchrilatus* (Cope, 1885)

*Thamnophis scalaris* Cope, 1861

*Thamnophis scaliger* (Jan, 1863)

*Storeria storerioides* (Cope, 1866)

### **Familia Typhlopidae**

*Indotyphlops braminus* (Daudin, 1803)

### **Familia Viperidae**

#### **SubFamilia Crotalinae**

*Crotalus intermedius* Troschel, 1865

*Crotalus molossus* Baird y Girard, 1853

*Crotalus ravus* Cope, 1865

*Crotalus scutulatus* Kennicott, 1861

*Crotalus triseriatus* Wagler, 1830



Anexo 4. Categorías de conservación, medidas de vulnerabilidad, endemidad y procedencia del registro de los anfibios y los reptiles de Tlaxcala.

Cuadro 27. Listado taxonómico de los anfibios de Tlaxcala, México. Proporcionamos la categoría de conservación de la UICN (preocupación menor = LC, casi amenazado = NT, vulnerable = V, en peligro = EN) de acuerdo con la Lista Roja de la UICN, el puntaje de vulnerabilidad ambiental (el rango EVS se divide en los siguientes tres categorías: vulnerabilidad baja (3–9), media (10–13) y alta (14–19) de Wilson *et al.* (2013a, b), y el estado de conservación de la NOM-059 (sujeto a protección especial = Pr, Amenazado =A, y No considerado =Nc) según SEMARNAT (NOM 059-2010). Procedencia del registro: 1) Liner y Whitten (1976); 2) Sánchez-Herrera (1980); 3) Sánchez-Herrera y López-Ortega (1987); 4) Flores-Villela y Gerez (1994); 5) Fernández y Sánchez (2003); 6) Fernández *et al.* (2006a); 7) Fernández *et al.* (2006b); 8) Duifhus y García-Vázquez (2010); 9) García-Vázquez y Trujano-Ortega, (2012); 10) González-Hernández *et al.* (2016); 11) Díaz de la Vega-Pérez *et al.* (2019); 12) Pérez-Díaz *et al.* (2020); 13) Del Moral-Flores *et al.* (2021); 14) CNAR-UNAM; 15) MZFC-UNAM; 16) Colección Regional de Vertebrados-UATX; 17) Colección de Anfibios y Reptiles-BUAP; 18) MZFZ-UNAM; 19) GBIF; 20) Naturalista; 21) Presente estudio. Se indica si la especie es endémica para el país (E), No endémica (NE).

TAXONOMÍA	Endemismo	EVS Score	IUCN status	NOM 059 2010	Procedencia del registro
AMPHIBIA					
CAUDATA					
Familia AMBYSTOMATIDAE					
<i>Ambystoma velasci</i>	E	M(10)	LC	Pr	4,6,11,12,13,14,15,19,20,21
Familia PLETHODONTIDAE					
<i>Aquiloerycea cephalica</i>	E	H(14)	NT	A	2,3,4,6,11,14,15,19,20,21
<i>Chiropterotriton orculus</i>	E	H(18)	VU	Nc	7,11,14,15,19,20,21
<i>Pseudoeurycea gadovii</i>	E	M(13)	VU	Pr	2,3,4,6,11,14,16,19,20,21
<i>Pseudoeurycea leprosa</i>	E	H(16)	LC	A	2,3,4,6,11,14,15,16,17,19,20,21
ANURA					
Familia ELEUTHERODACTYLIDAE					
<i>Eleutherodactylus nitidus</i>	E	M(12)	LC	Nc	9,15,20,21
Familia HYLIDAE					
<i>Dryophytes arenicolor</i>	NE	L(7)	LC	Nc	7,15,20,21
<i>Dryophytes eximius</i>	E	M(10)	LC	Nc	2,6,11,14,15,16,19,20,21
<i>Dryophytes plicatus</i>	E	M(11)	LC	A	2,4,6,11,14,16,19,20,21
Familia RANIDAE					

---

<i>Rana montezumae</i>	E	M(13)	LC	Pr	4,8,15
<i>Rana spectabilis</i>	E	M(12)	LC	Nc	6,15,19,20,21
Familia SCAPHIOPODIDAE					
<i>Spea multiplicata</i>	NE	L(6)	LC	Nc	1,2,3,6,11,14,15,19,20,21
Familia BUFONIDAE					
<i>Anaxyrus compactilis</i>	E	H(14)	LC	Nc	1
<i>Incilius occidentalis</i>	E	M(11)	LC	Nc	2,4,6,14,15,19,20,21

Cuadro 28. Lista taxonómica de los reptiles de Tlaxcala, México. Proporcionamos la categoría de conservación de la UICN (preocupación menor = LC, casi amenazado = NT, vulnerable = V, en peligro = EN) de acuerdo con la Lista Roja de la UICN, el puntaje de vulnerabilidad ambiental (el rango EVS se divide en los siguientes tres categorías: vulnerabilidad baja (3–9), media (10–13) y alta (14–19) de Wilson *et al.* (2013a, b), y el estado de conservación de la NOM-059 (sujeto a protección especial = Pr, Amenazado =A, y No considerado =Nc) según SEMARNAT (NOM 059-2010). Procedencia del registro se refiere al origen de la información: 1) Liner y Whitten (1976); 2) Sánchez-Herrera (1980); 3) Sánchez-Herrera y López-Ortega (1987); 4) Flores-Villela y Gerez (1994); 5) Fernández y Sánchez (2003); 6) Fernández *et al.* (2006a); 7) Fernández *et al.* (2006b); 8) Duifhus y García-Vázquez (2010); 9) García-Vázquez y Trujano-Ortega, (2012); 10) González-Hernández *et al.* (2016); 11) Díaz de la Vega-Pérez *et al.* (2019); 12) Pérez-Díaz *et al.* (2020); 13) Del Moral-Flores *et al.* (2021); 14) CNAR-UNAM; 15) MZFC-UNAM; 16) Colección Regional de Vertebrados-UATX; 17) Colección de Anfibios y Reptiles-BUAP; 18) MZFZ-UNAM; 19) GBIF; 20) Naturalista; 21) Este estudio. Por último, se indica si la especie es endémica para el país (E), No endémica (NE) o Introducida (I).

TAXONOMÍA	Endemismo	EVS score	IUCN status	NOM 059 2010	Procedencia del registro
SQUAMATA					
Familia ANGUILLIDAE					
<i>Abronia graminea</i>	E	H(15)	EN	A	16
<i>Barisia imbricata</i>	E	H(14)	LC	Pr	2,6,11,14,15,16,18,19,20,21
Familia DIPLOGLOSSIDAE					
<i>Siderolamprus legnotus</i>	E	H(14)	LC	Nc	16
Familia PHRYNOSOMATIDAE					
<i>Phrynosoma orbiculare</i>	E	M(12)	LC	A	2,4,6,11,14,15,16,19,20,21
<i>Sceloporus aeneus</i>	E	M(13)	LC	Nc	2,4,6,11,14,15,16,18,19,20,21
<i>Sceloporus bicanthalis</i>	E	M(13)	LC	Nc	6,4,11,14,15,16,19,20,21
<i>Sceloporus grammicus</i>	NE	L(9)	LC	Pr	2,4,6,11,14,15,16,18,19,20,21
<i>Sceloporus megalepidurus</i>	E	H(14)	VU	Pr	2,4,6,11,14,15,16,18,19,20,21
<i>Sceloporus mucronatus</i>	E	M(13)	LC	Nc	2,4,6,14,15,16,19,20,21
<i>Sceloporus scalaris</i>	E	M(12)	LC	Nc	2,6,11,14
<i>Sceloporus spinosus</i>	E	M(12)	LC	Nc	2,4,6,11,14,15,16,19,20,21
<i>Sceloporus torquatus</i>	E	M(11)	LC	Nc	2,4,6,14,15,16,18,19,20,21
Familia SINCIDAE					
<i>Plestiodon brevirostris</i>	E	M(11)	LC	Nc	2,3,4,6,11,14,19,20,21
<i>Plestiodon copei</i>	E	H(14)	LC	Pr	6,7,15

<i>Plestiodon lynxe</i>	E	M(10)	LC	Pr	2,4,6,11,14,15,16,18,19,20,21
Familia TEIIDAE					
<i>Aspidoscelis costatus</i>	E	M(11)	LC	Pr	6,11,14,15,16,19,20,21
Familia COLUBRIDAE					
<i>Conopsis lineata</i>	E	M(13)	LC	Nc	2,4,6,11,14,15,16,17,19,20,21
<i>Pituophis deppei</i>	E	H(14)	LC	A	2,6,11,14,15,16,19,20,21
<i>Salvadora bairdi</i>	E	H(15)	LC	Pr	2,4,6,11,14,15,16,19,20,21
Familia ELAPIDAE					
<i>Micrurus tener</i>	NE	M(11)	LC	Nc	4,6,7,15
Familia NATRICIDAE					
<i>Storeria storerioides</i>	E	M(11)	LC	Nc	6,7,11,14,15,16,19,20,21
<i>Thamnophis cyrtopsis</i>	NE	L(7)	LC	A	19,20
<i>Thamnophis eques</i>	NE	L(8)	LC	A	2,6,11,14,15,16,19,20,21
<i>Thamnophis melanogaster</i>	E	H(15)	EN	A	20
<i>Thamnophis pulchrilatus</i>	E	H(15)	LC	Nc	6,7,10,15,21
<i>Thamnophis scalaris</i>	E	H(15)	LC	A	2,4,6,11,14,15,16,19,20,21
<i>Thamnophis scaliger</i>	E	H(14)	VU	A	4,6,14
Familia TYPHLOPIDAE					
<i>Indotyphlops braminus</i>	I	-	LC	Nc	18
Familia VIPERIDAE					
SubFamilia CROTALINAE					
<i>Crotalus intermedius</i>	E	H(15)	LC	A	2,3,4,6,14,16,21
<i>Crotalus molossus</i>	NE	H(15)	LC	Pr	5,6,14,21
<i>Crotalus ravus</i>	E	H(14)	LC	A	2,4,6,11,14,15,16,17,18,19,20,21
<i>Crotalus scutulatus</i>	NE	M(11)	LC	Pr	3,6, 14,19,20
<i>Crotalus triseriatus</i>	E	H(16)	LC	Nc	2,6,11,14,16,19,20,21

Anexo 5. Mapas de incidencia de las especies de anfibios y reptiles en el estado de Tlaxcala.

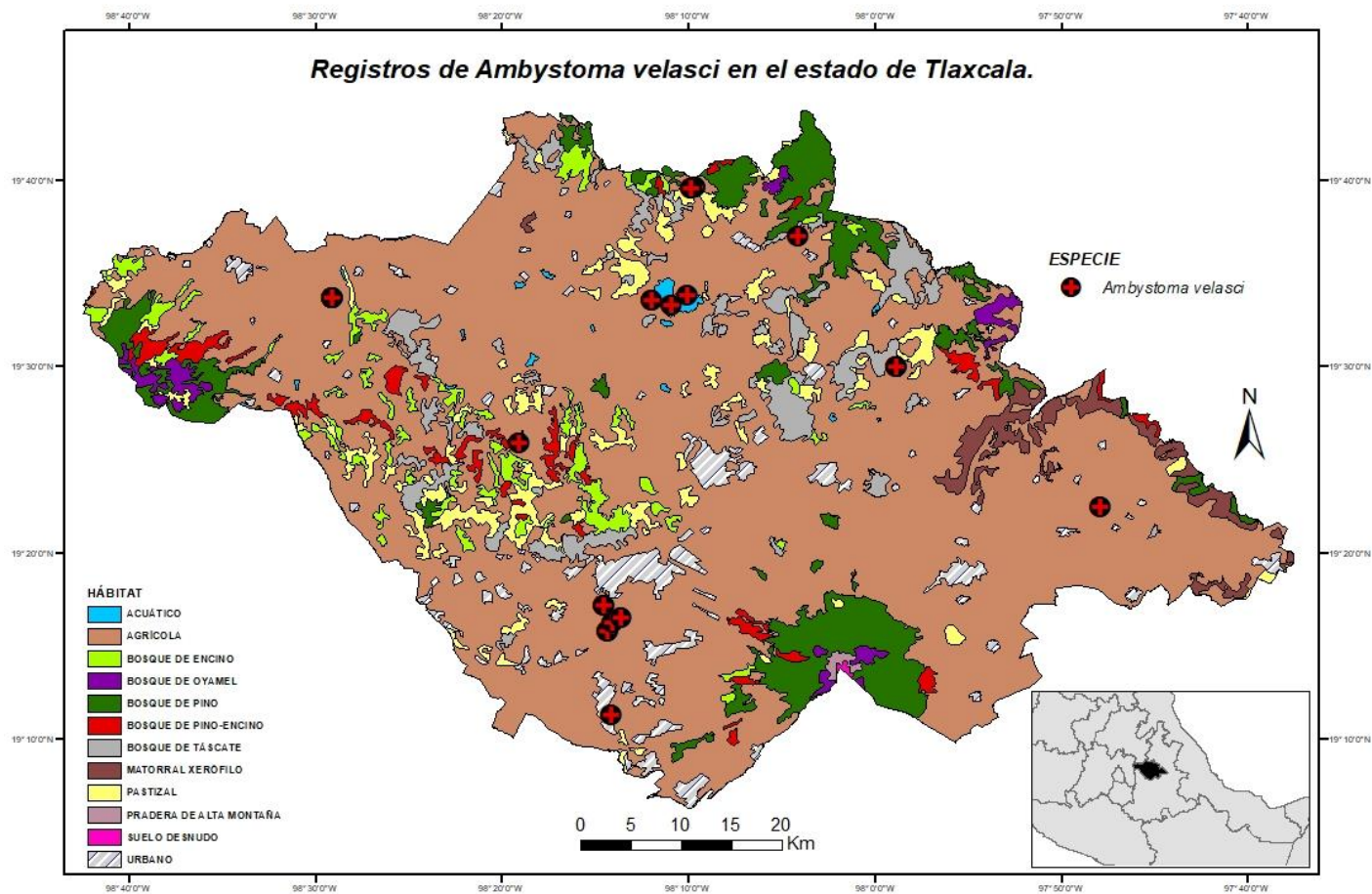


Figura 12. Registros de *Ambystoma velasci* en el estado de Tlaxcala.

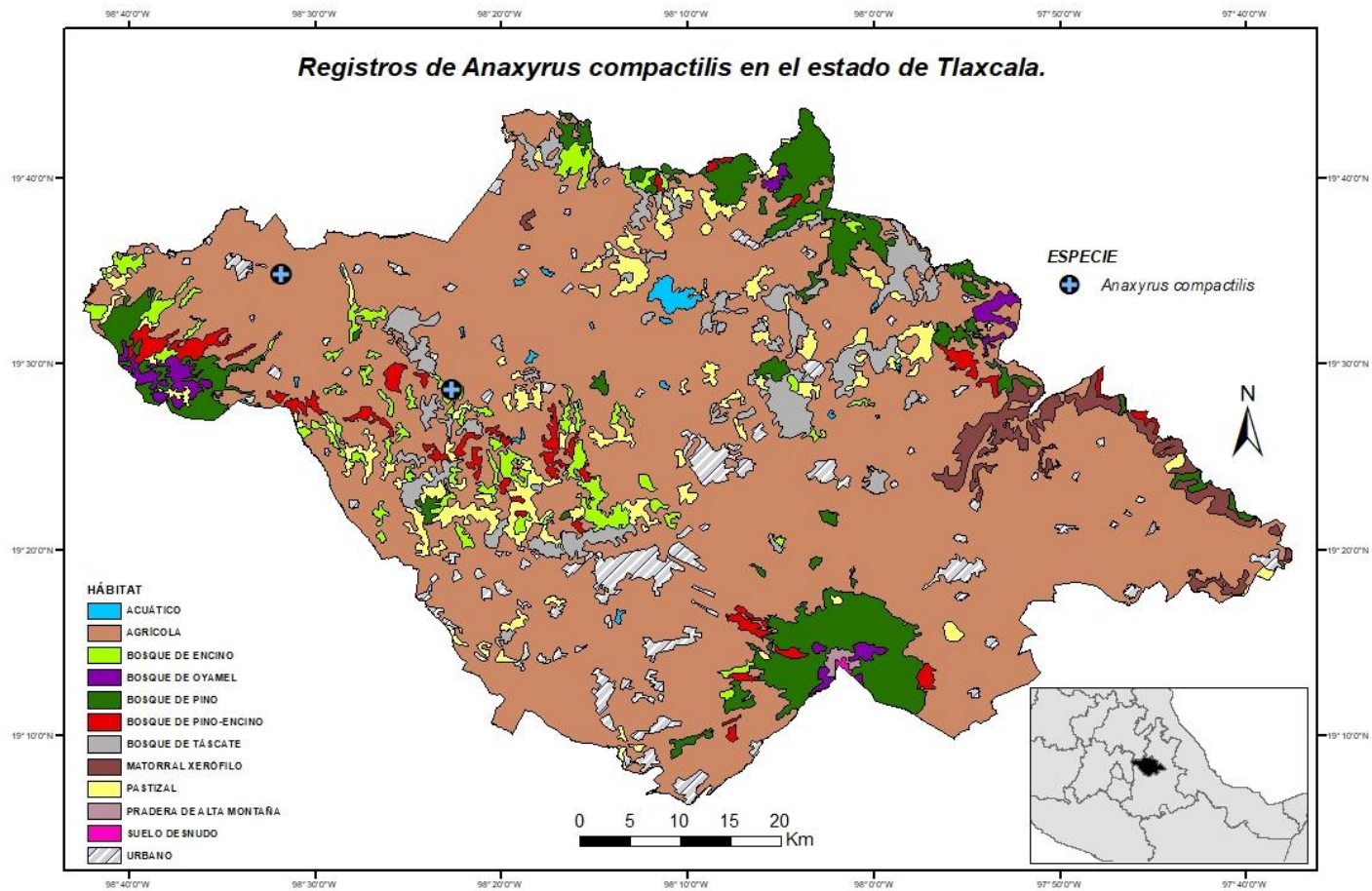


Figura 13. Registros de *Anaxyrus compactilis* en el estado de Tlaxcala.

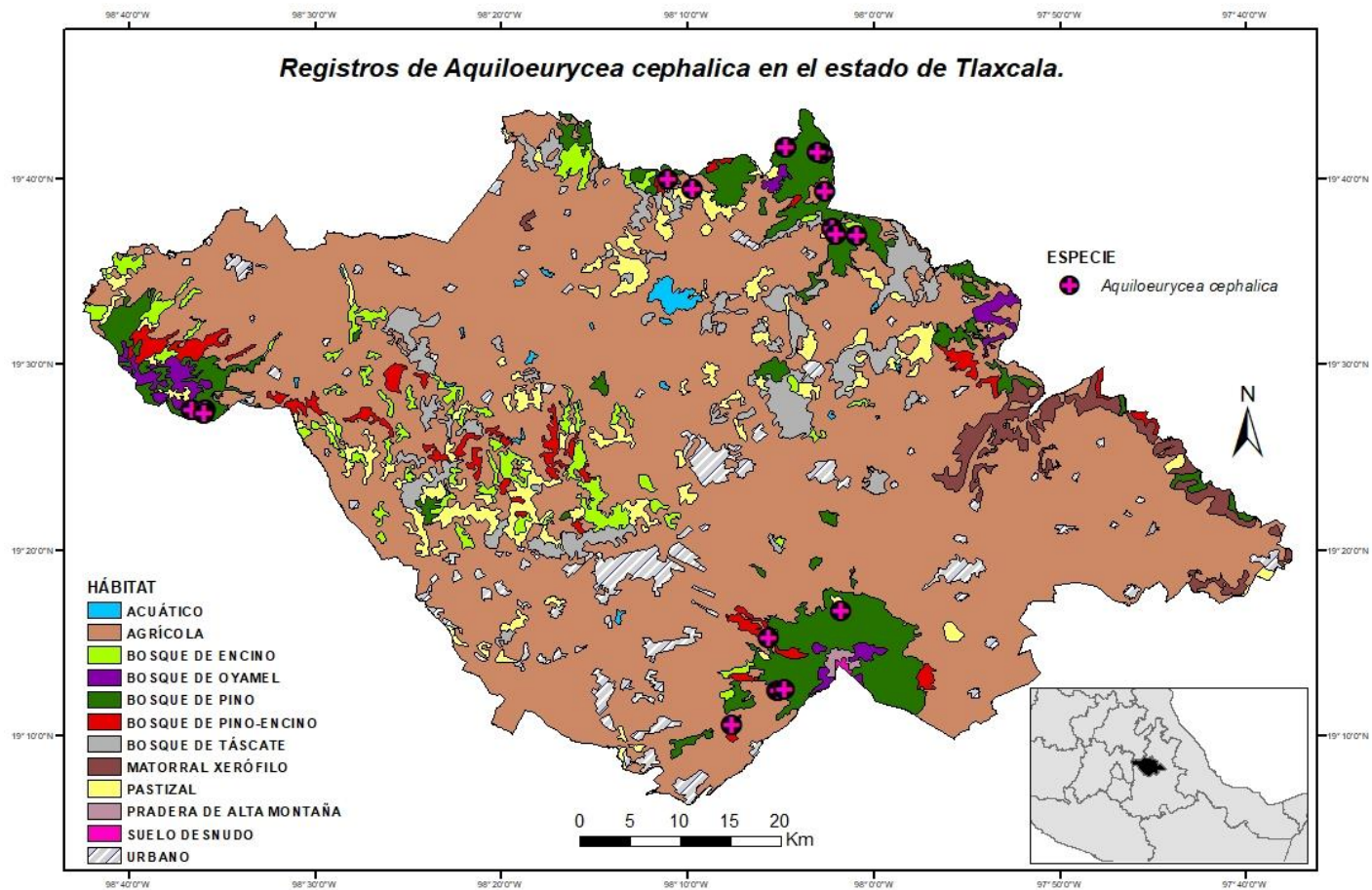


Figura 14. Registros de *Aquiloerycea cephalica* en el estado de Tlaxcala.



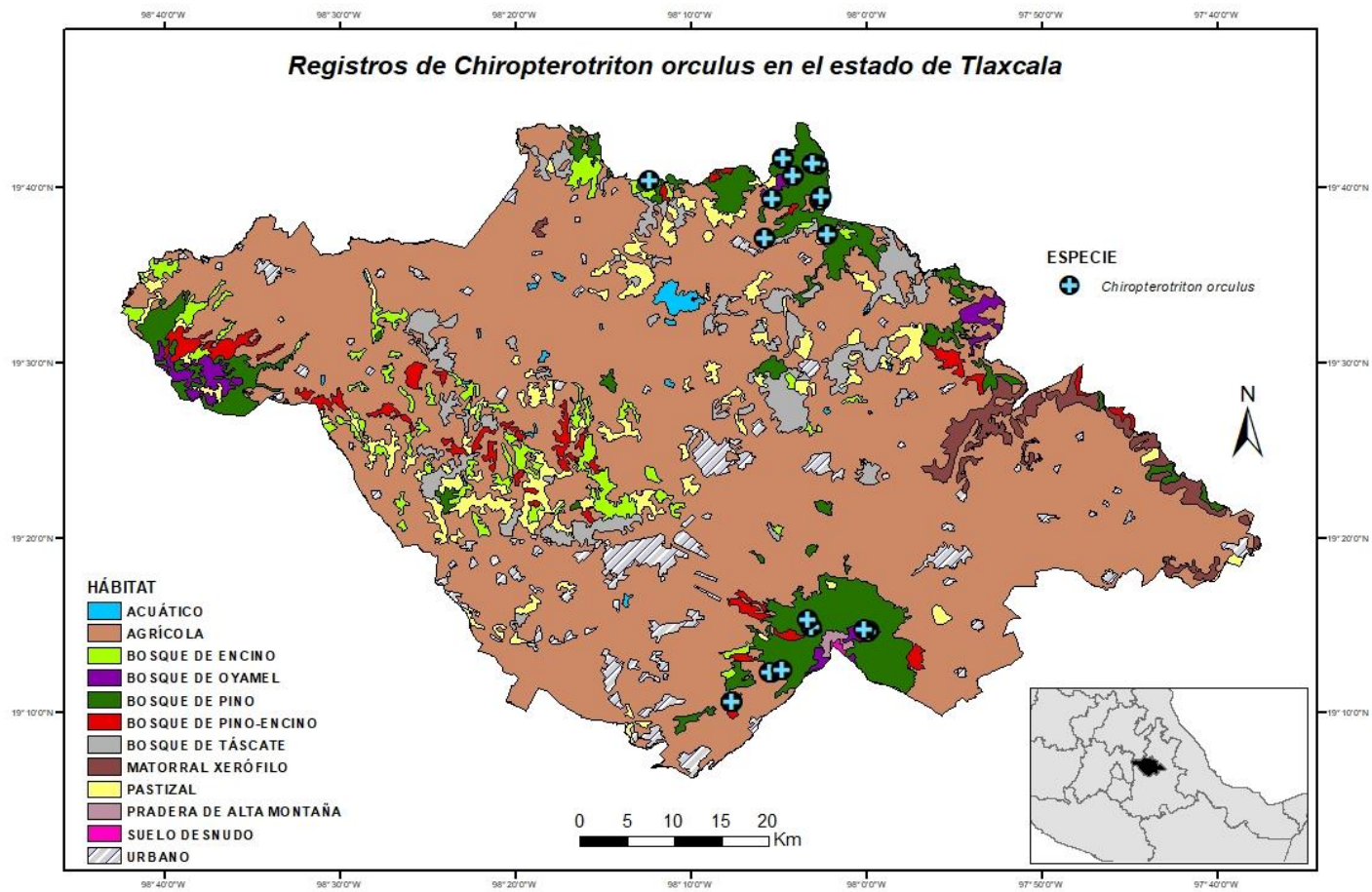


Figura 15. Registros de *Chiropterotriton orculus* en el estado de Tlaxcala.



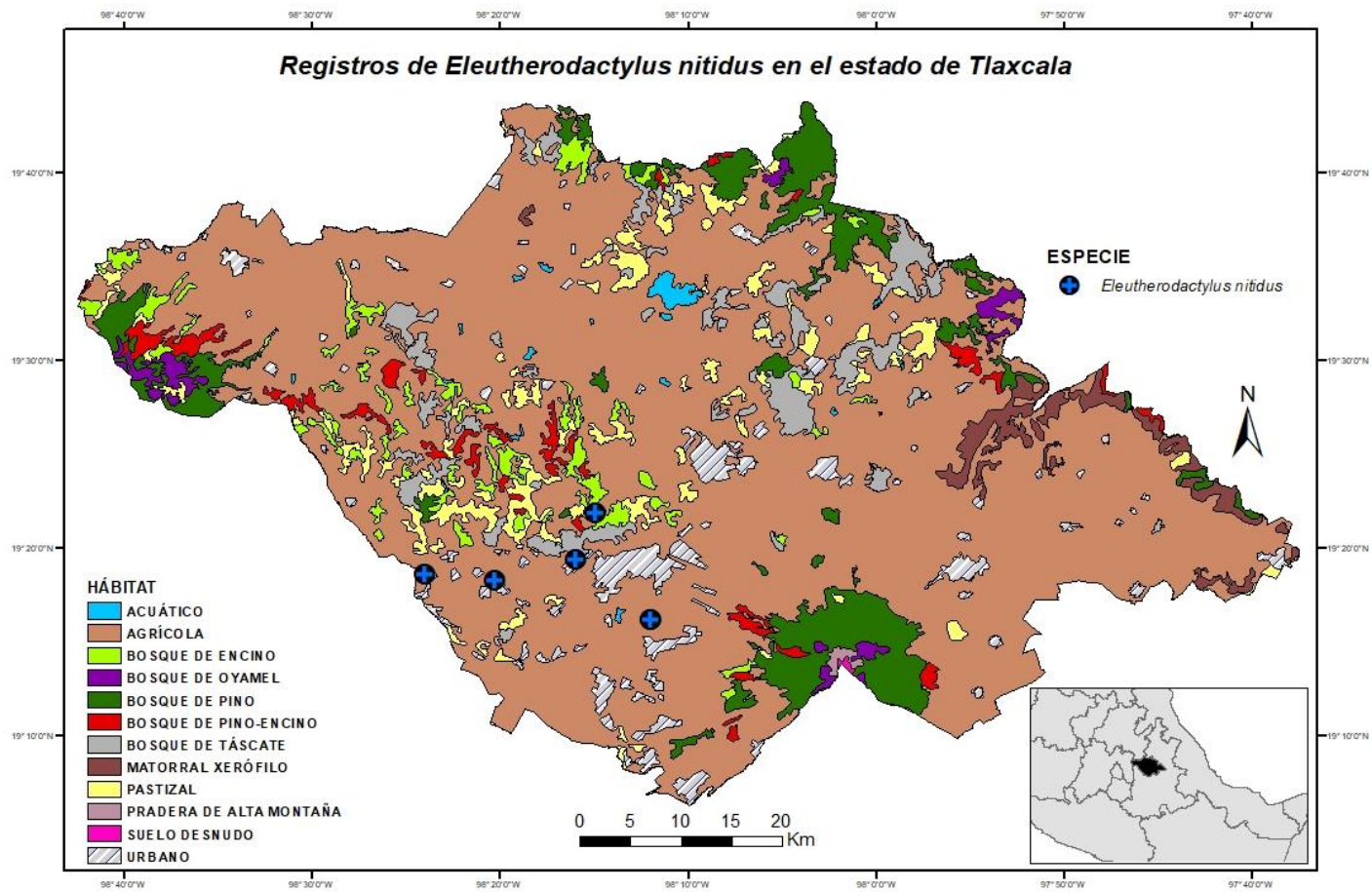


Figura 16. Registros de *Eleutherodactylus nitidus* en el estado de Tlaxcala.

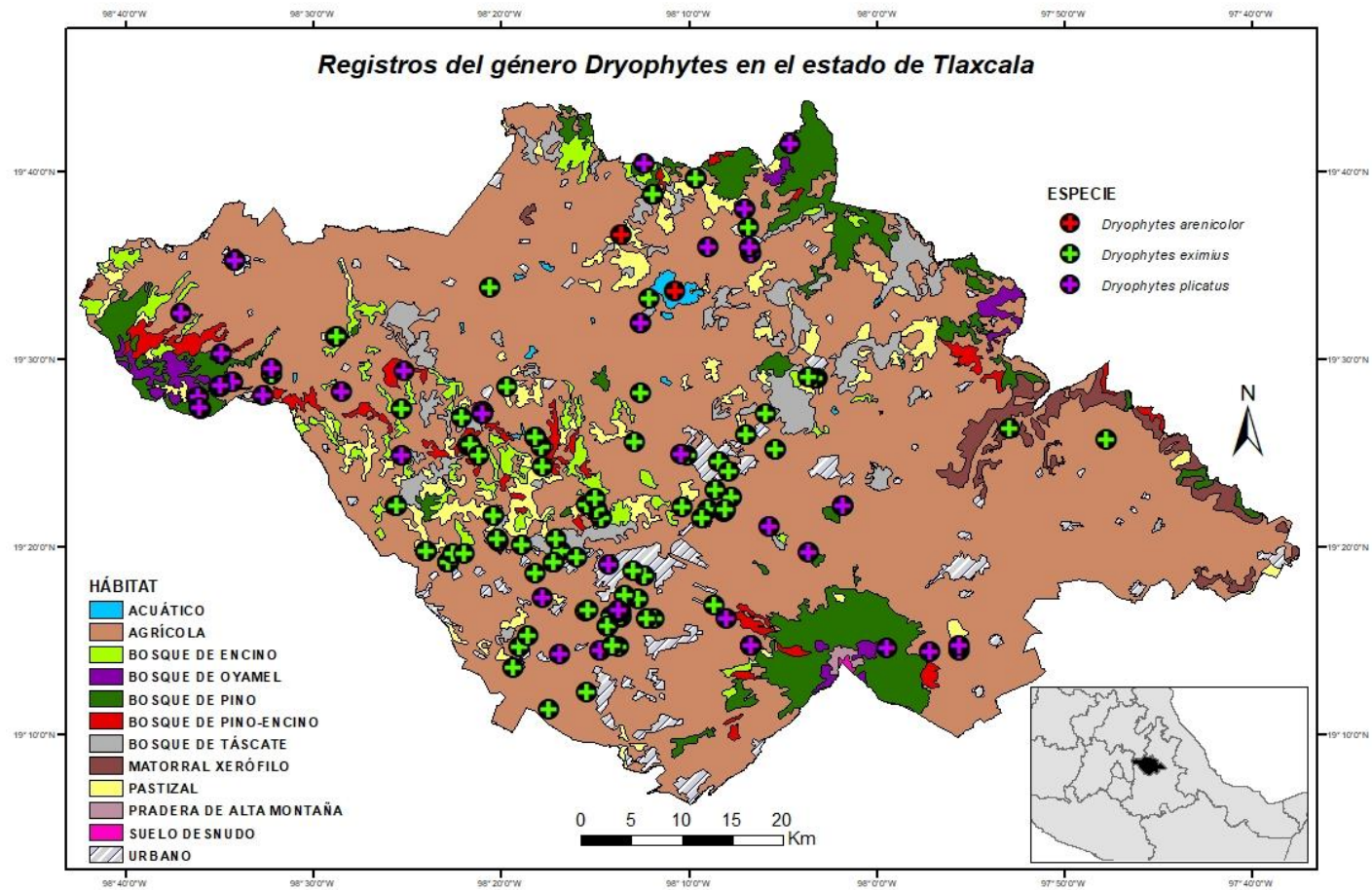


Figura 17. Registros del género *Dryophytes* en el estado de Tlaxcala.

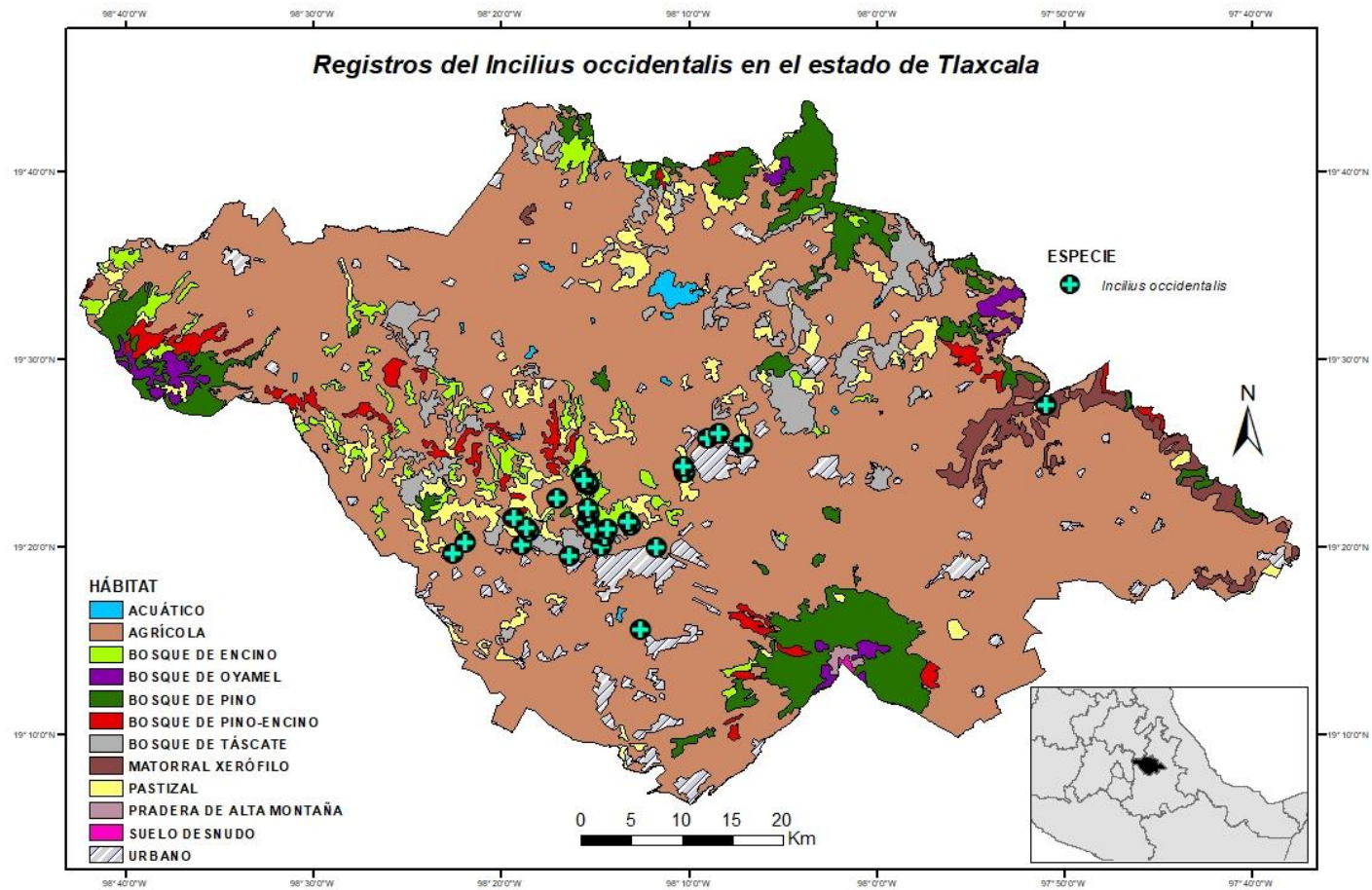


Figura 18. Registros de *Incilius occidentalis* en el estado de Tlaxcala.



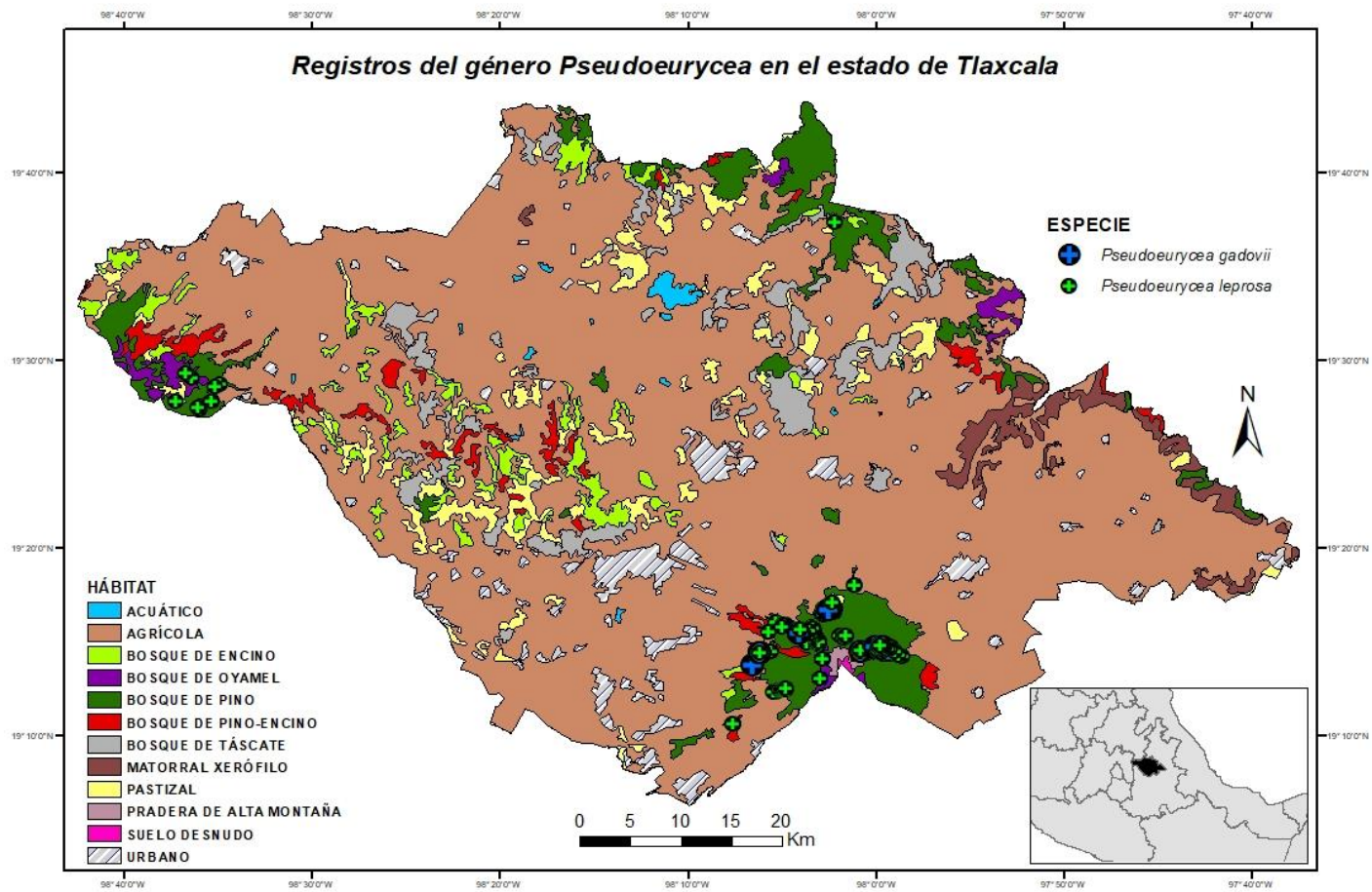


Figura 19. Registros del género *Pseudoeurycea* en el estado de Tlaxcala.

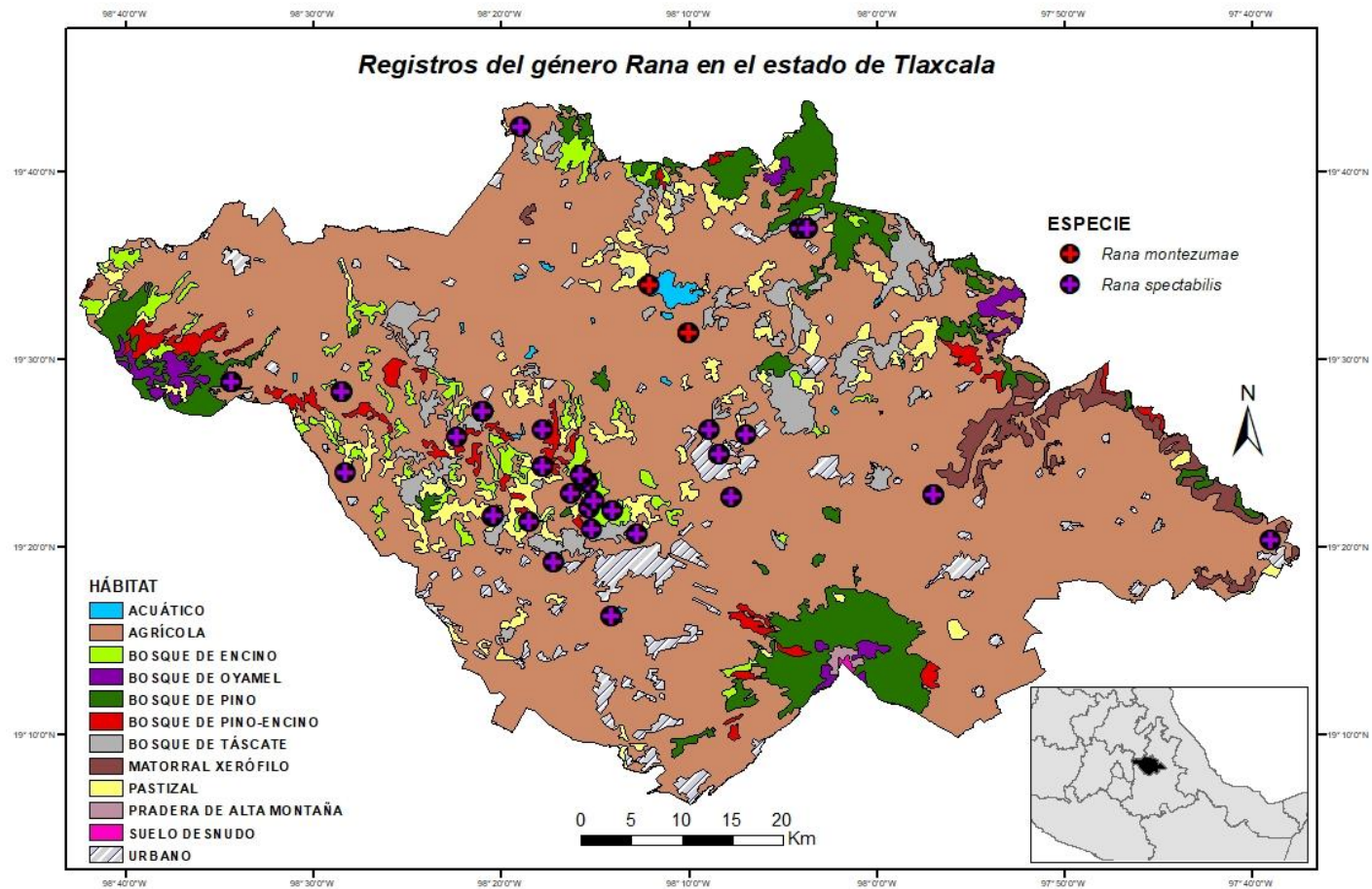


Figura 20. Registros del género *Rana* en el estado de Tlaxcala.

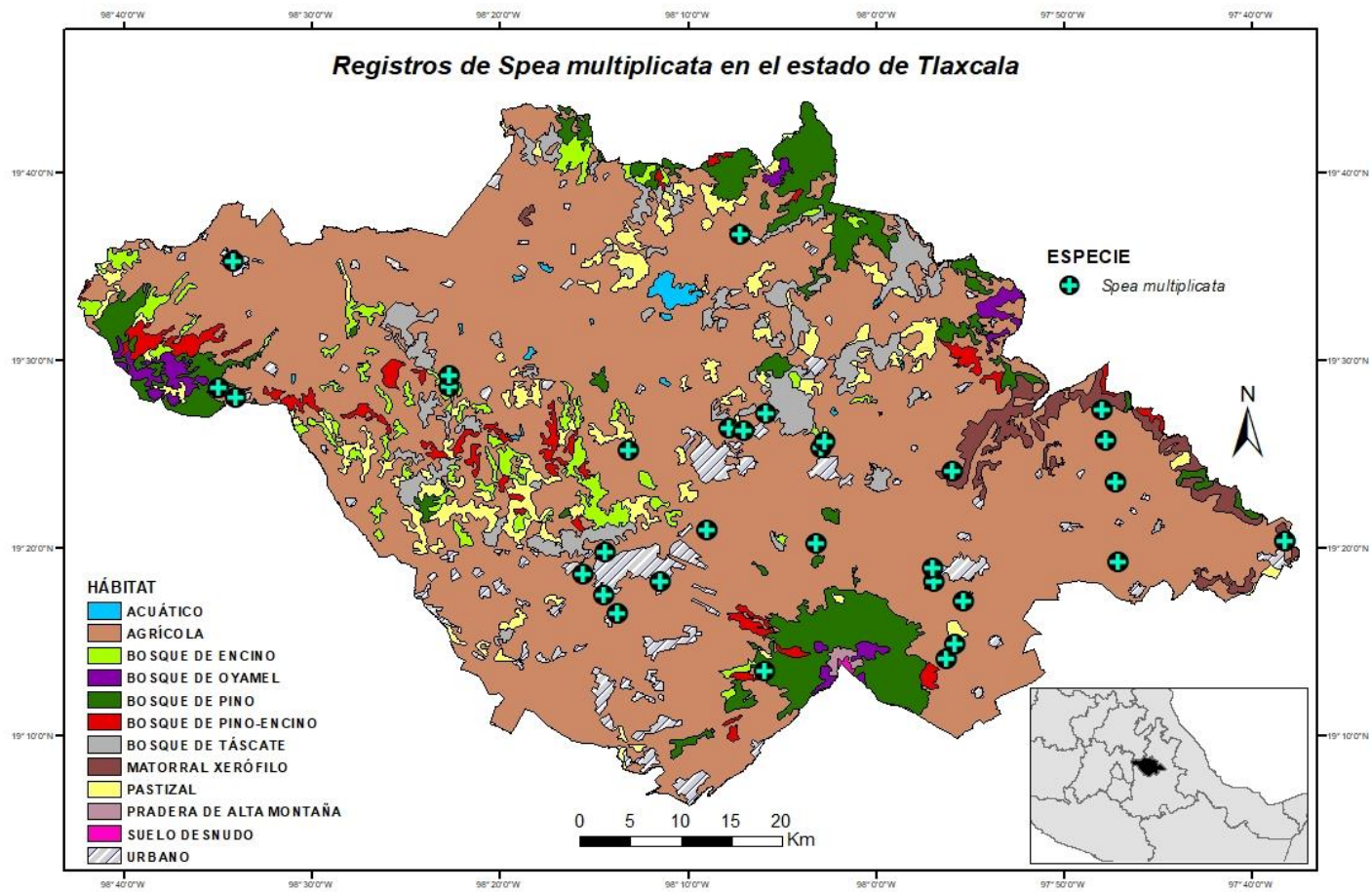


Figura 21. Registros de *Spea multiplicata* en el estado de Tlaxcala.



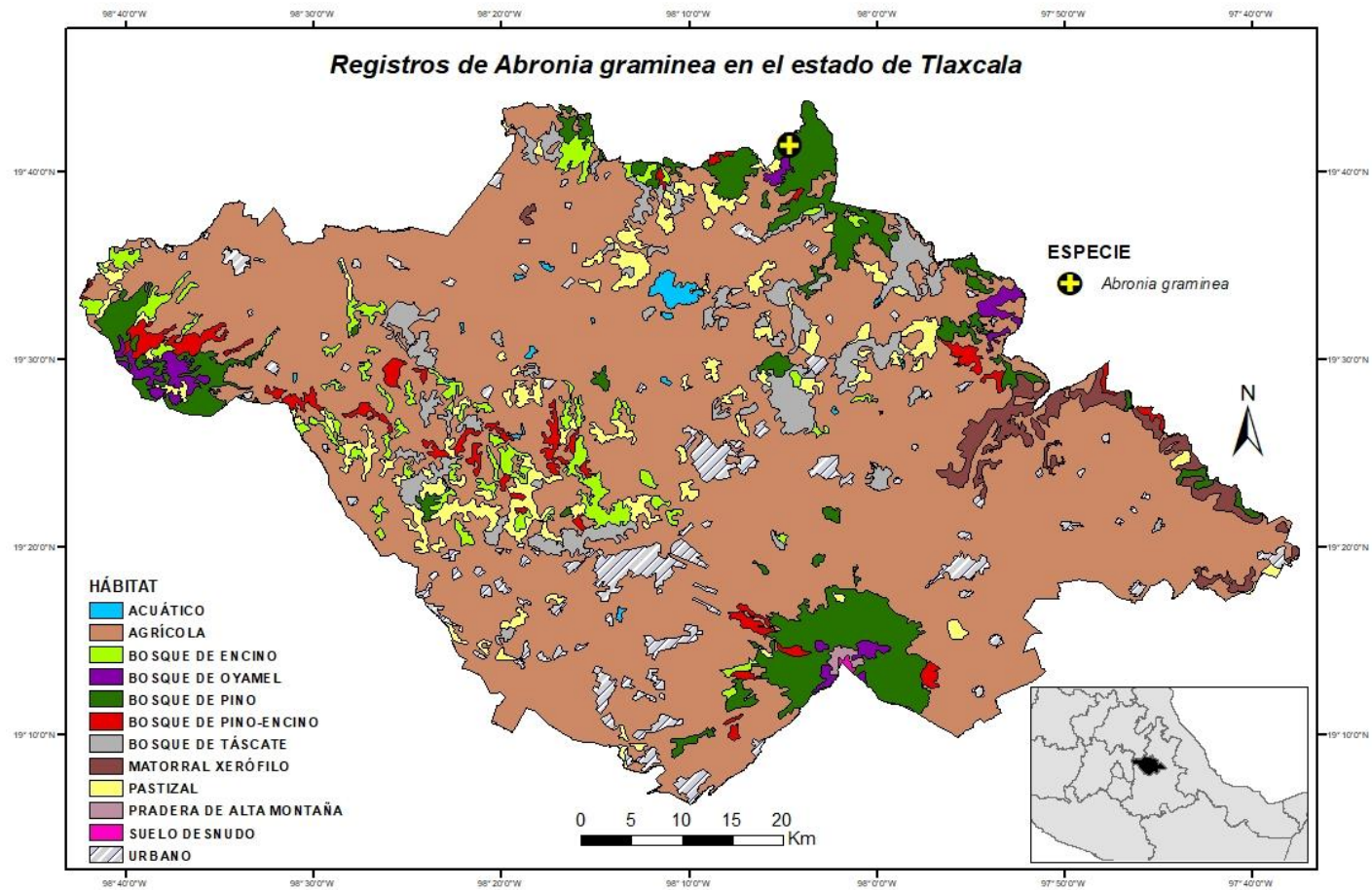


Figura 22. Registros de *Abronia graminea* en el estado de Tlaxcala.

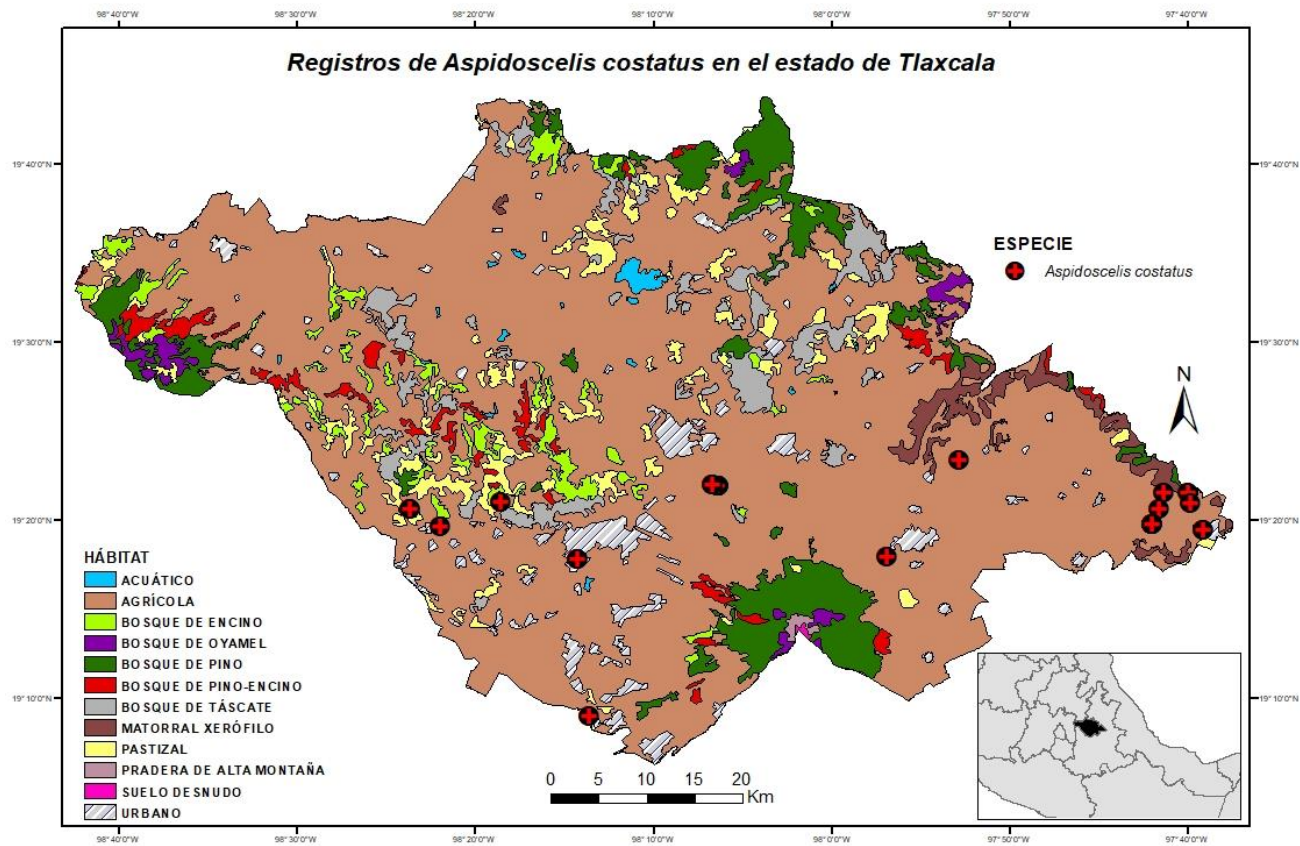


Figura 23. Registros de *Aspidoscelis costatus* en el estado de Tlaxcala.



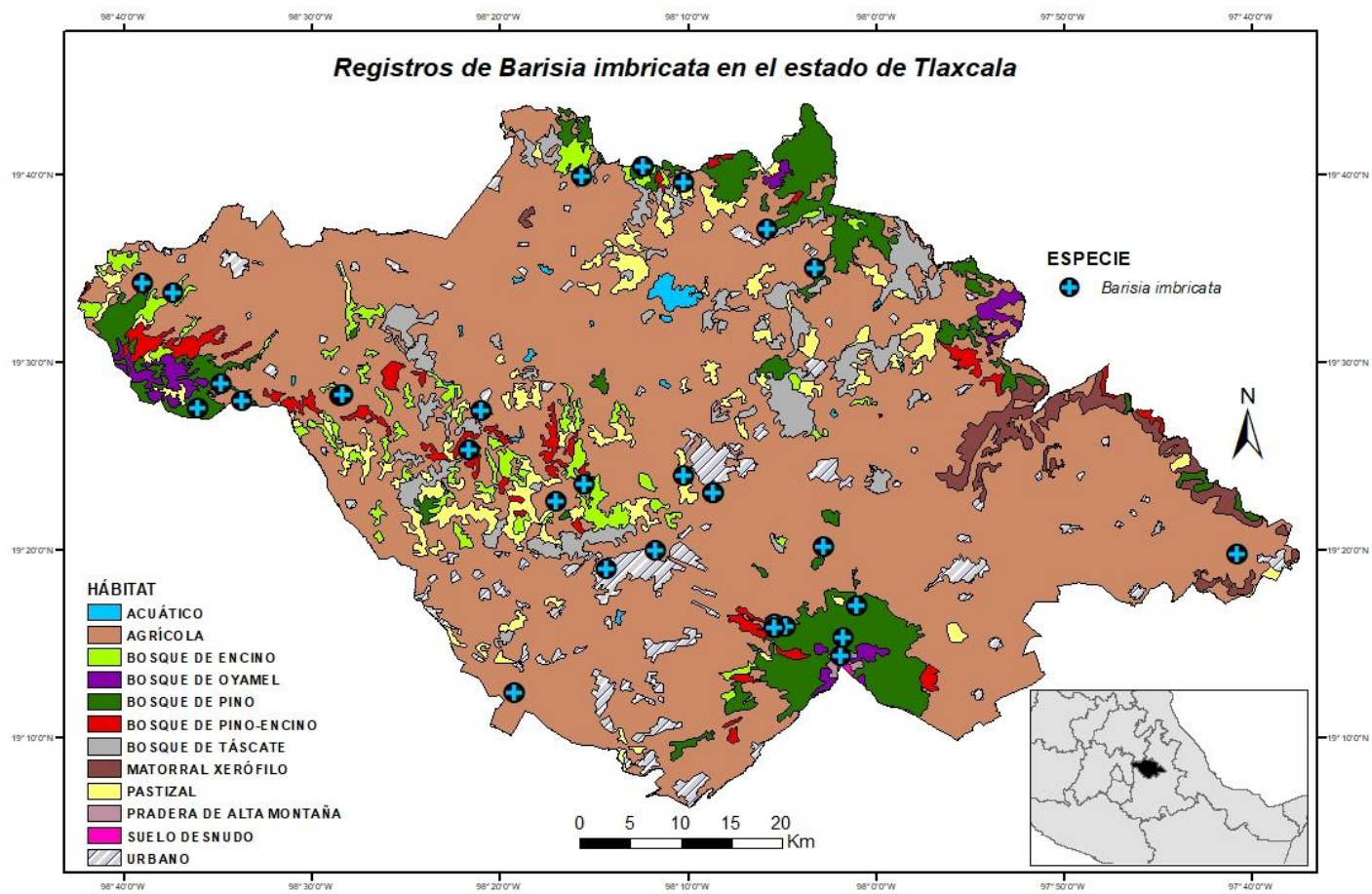


Figura 24. Registros de *Barisia imbricata* en el estado de Tlaxcala.

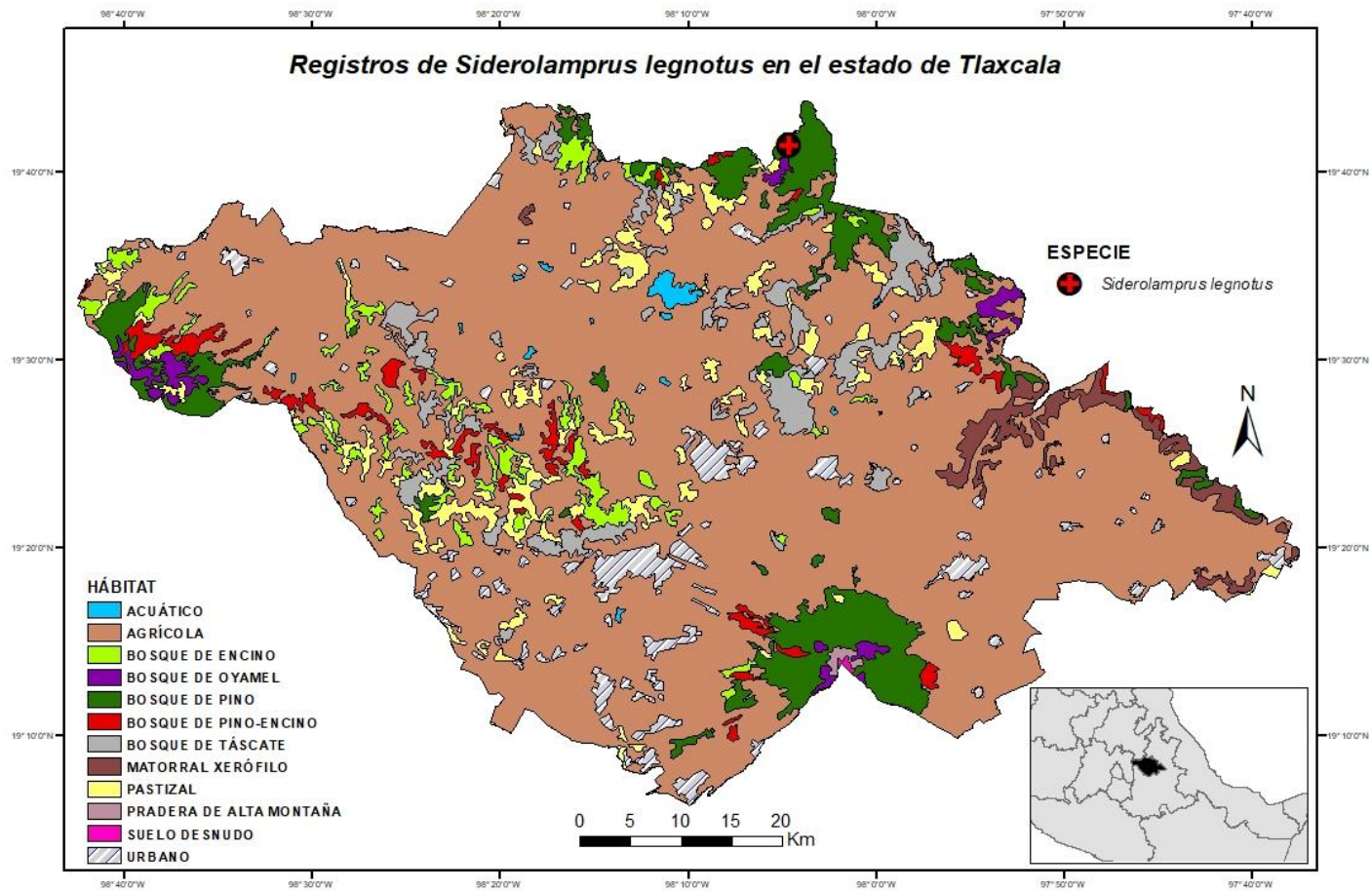


Figura 25. Registros de *Siderolamprus legnotus* en el estado de Tlaxcala.

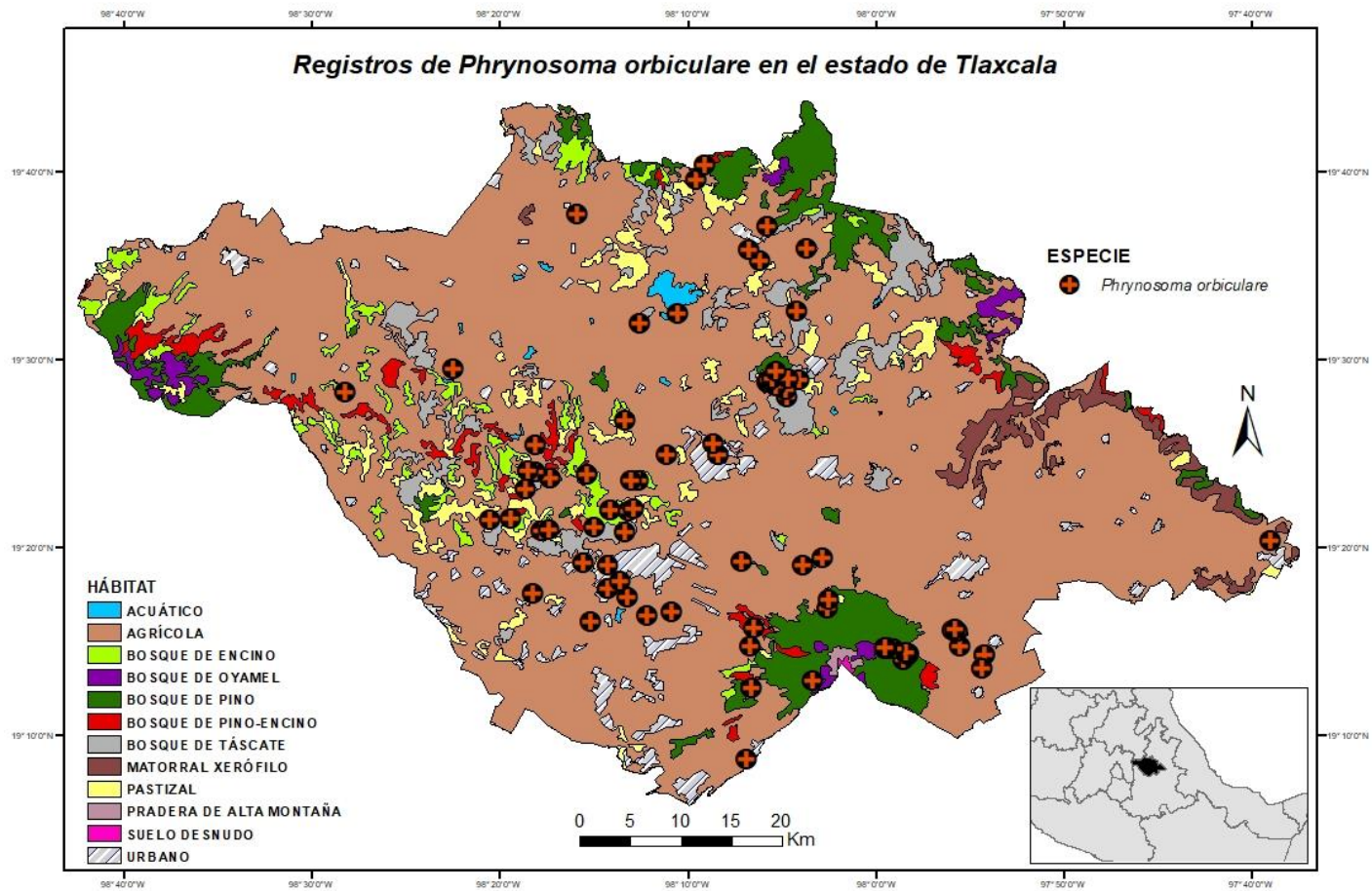


Figura 26. Registros de *Phrynosoma orbiculare* en el estado de Tlaxcala.



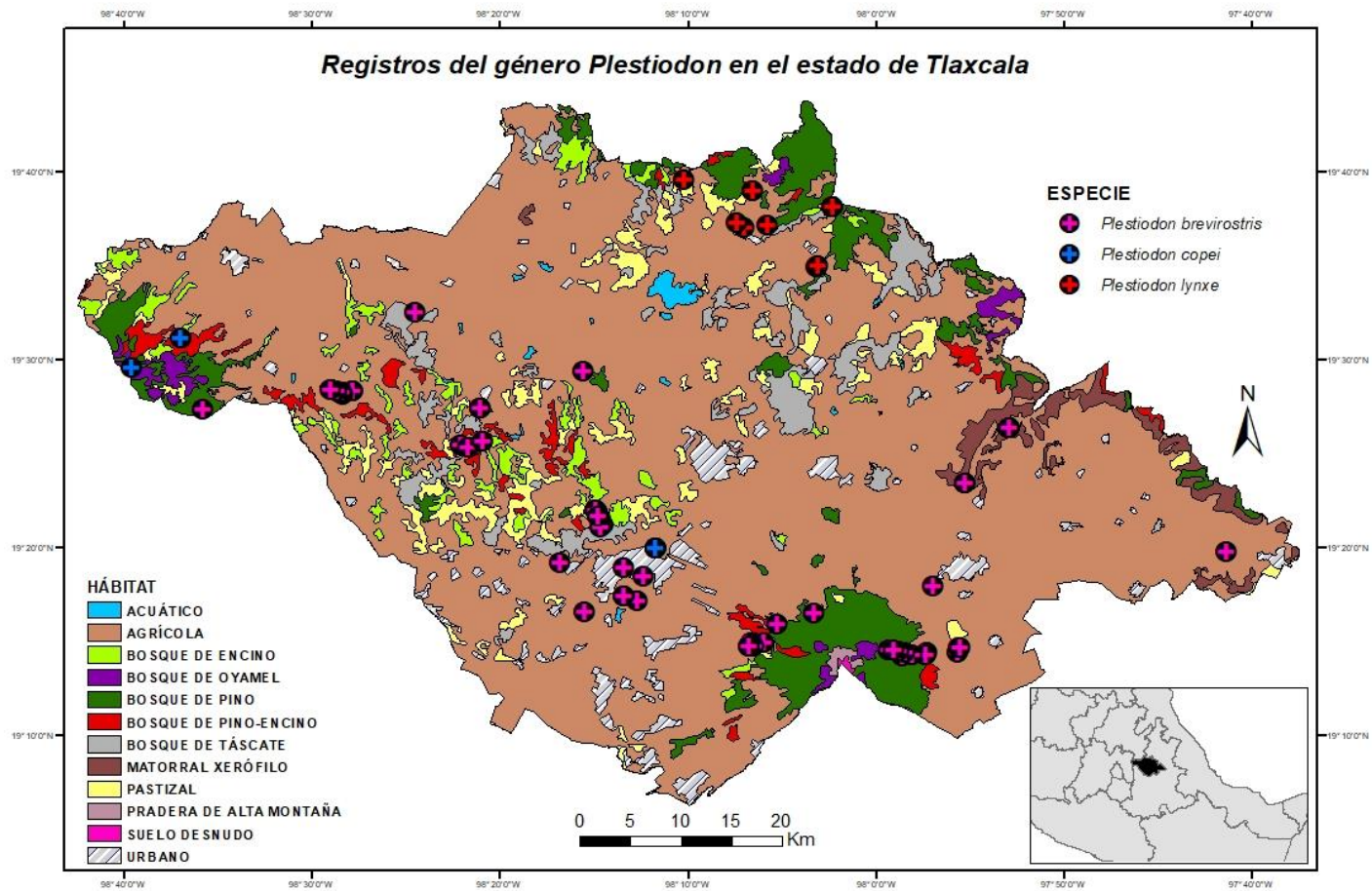


Figura 27. Registros del género *Plestiodon* en el estado de Tlaxcala.

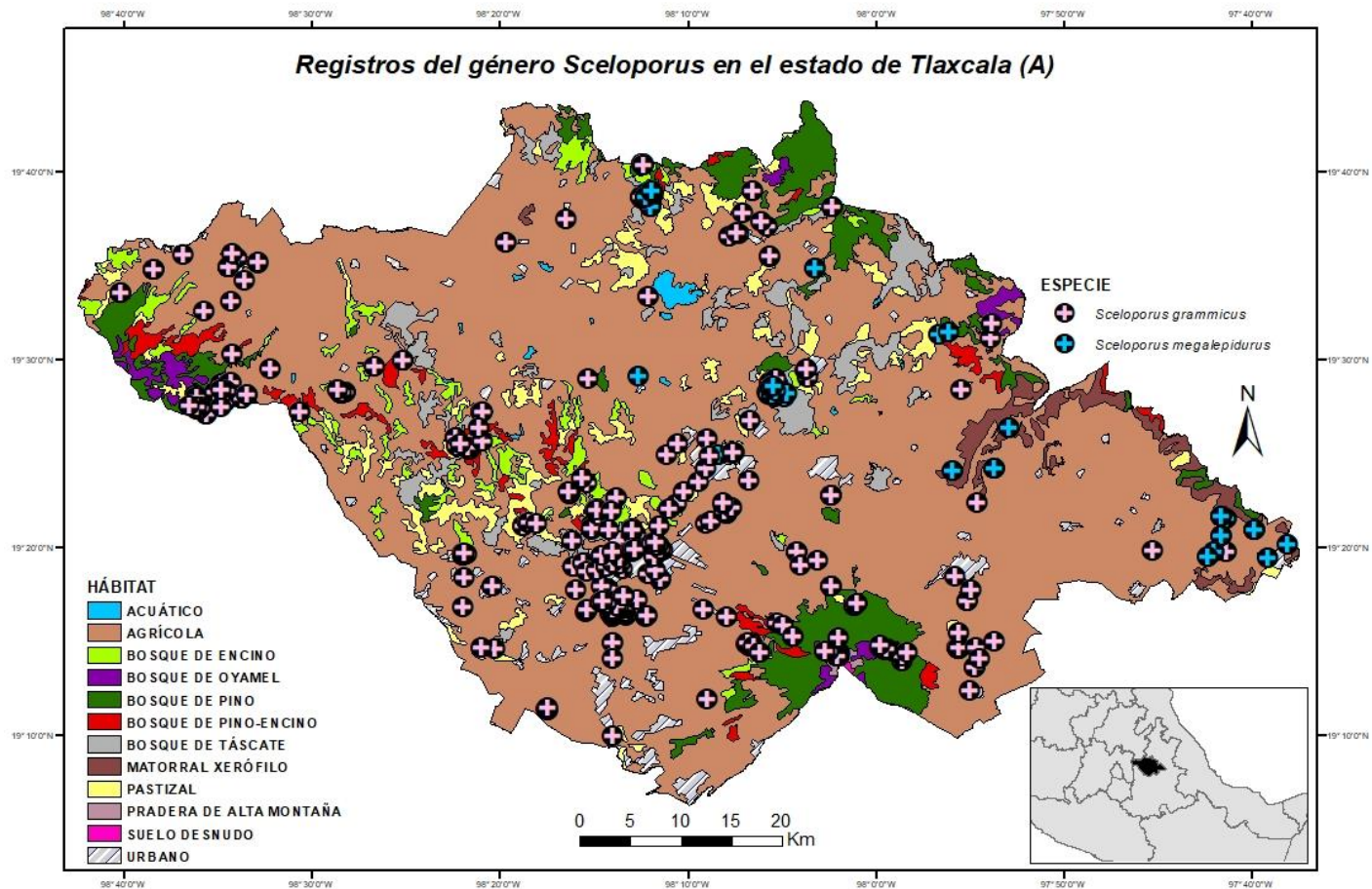


Figura 28. Registros de *Sceloporus grammicus* y *S. megalapidurus* en el estado de Tlaxcala.

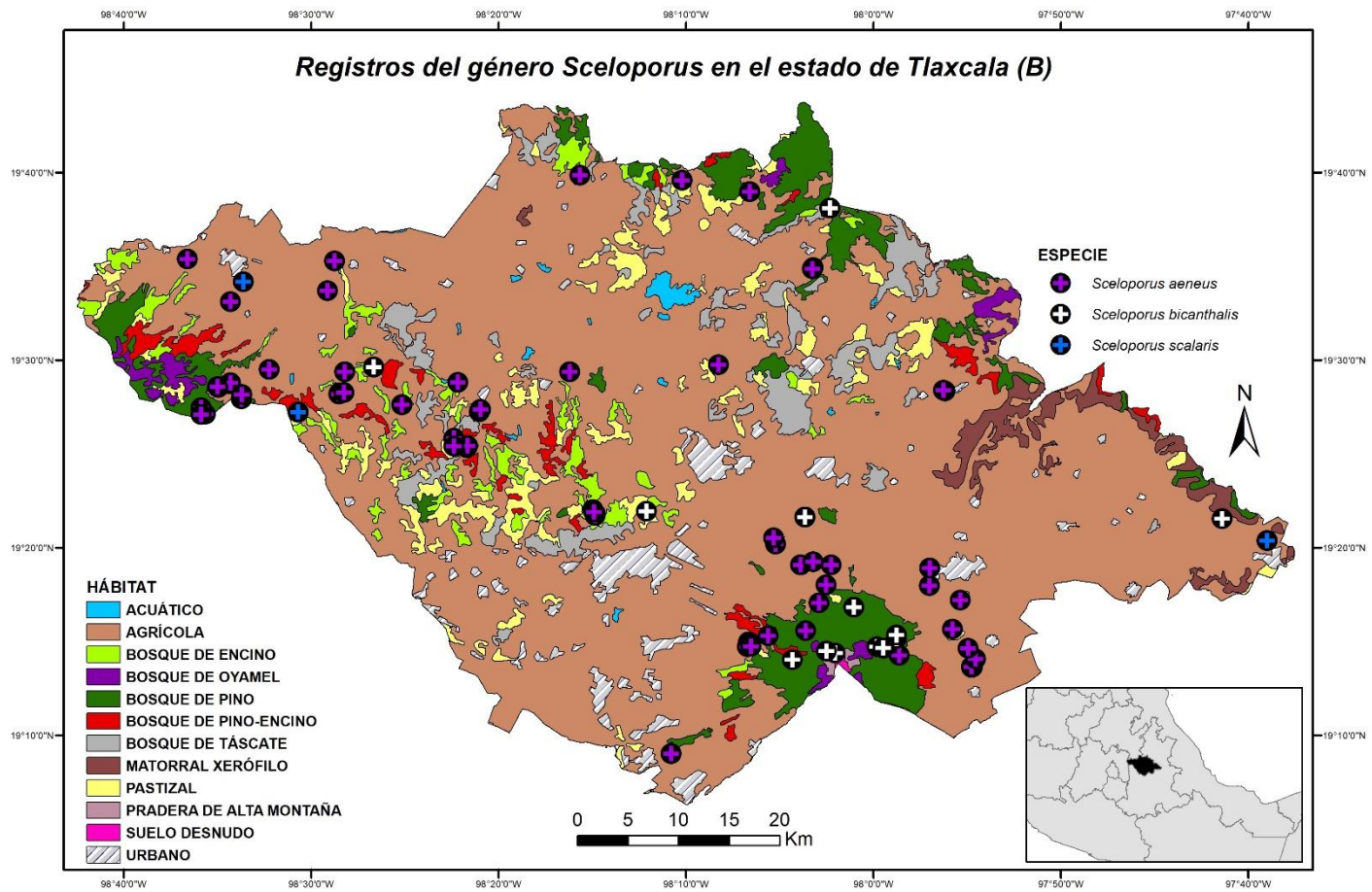


Figura 29. Registros de *S. aeneus*, *S. bicanthalis* y *S. scalaris* en el estado de Tlaxcala.



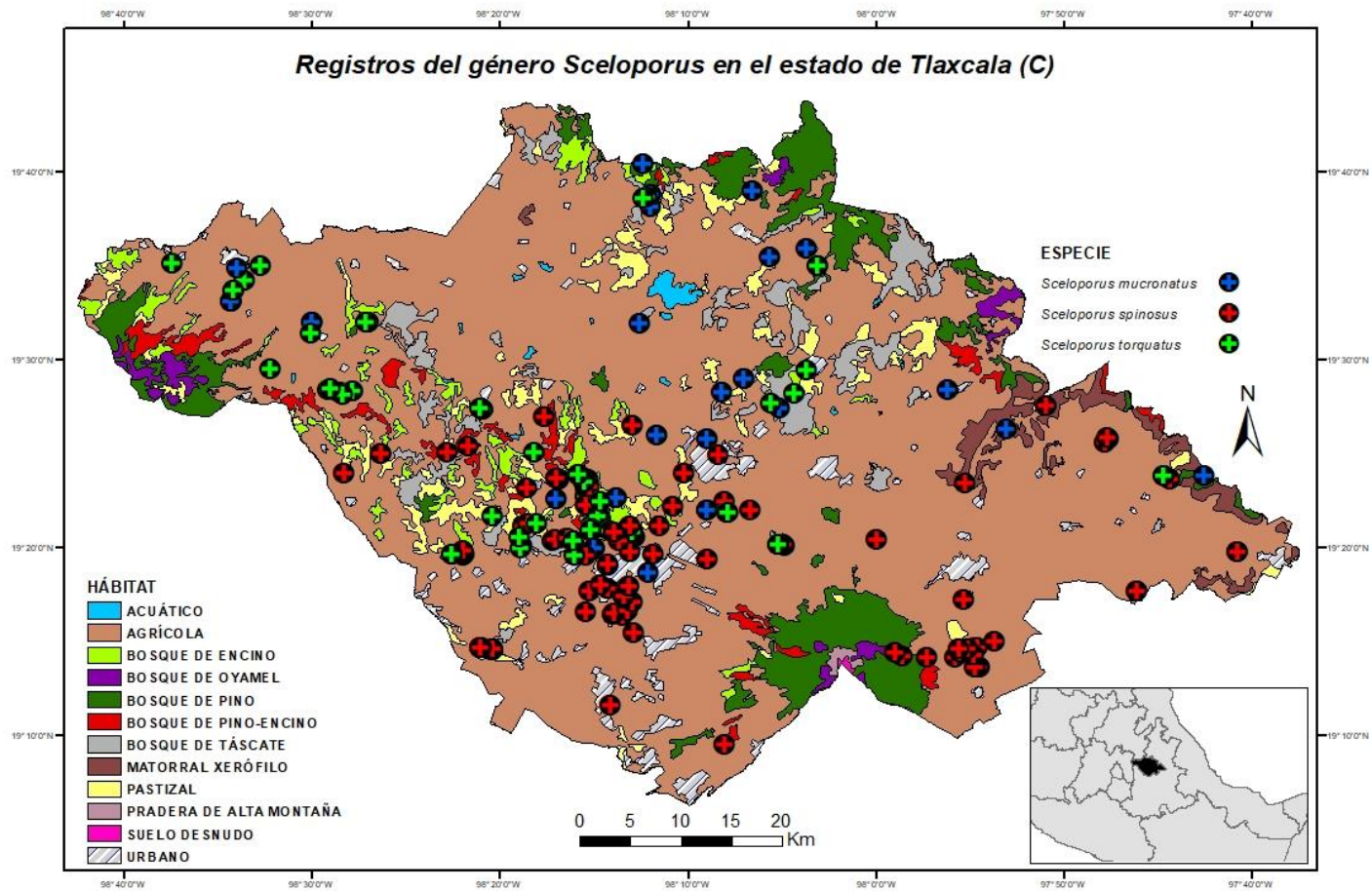


Figura 30. Registros de *S. mucronatus*, *S. spinosus* y *S. torquatus* en el estado de Tlaxcala.

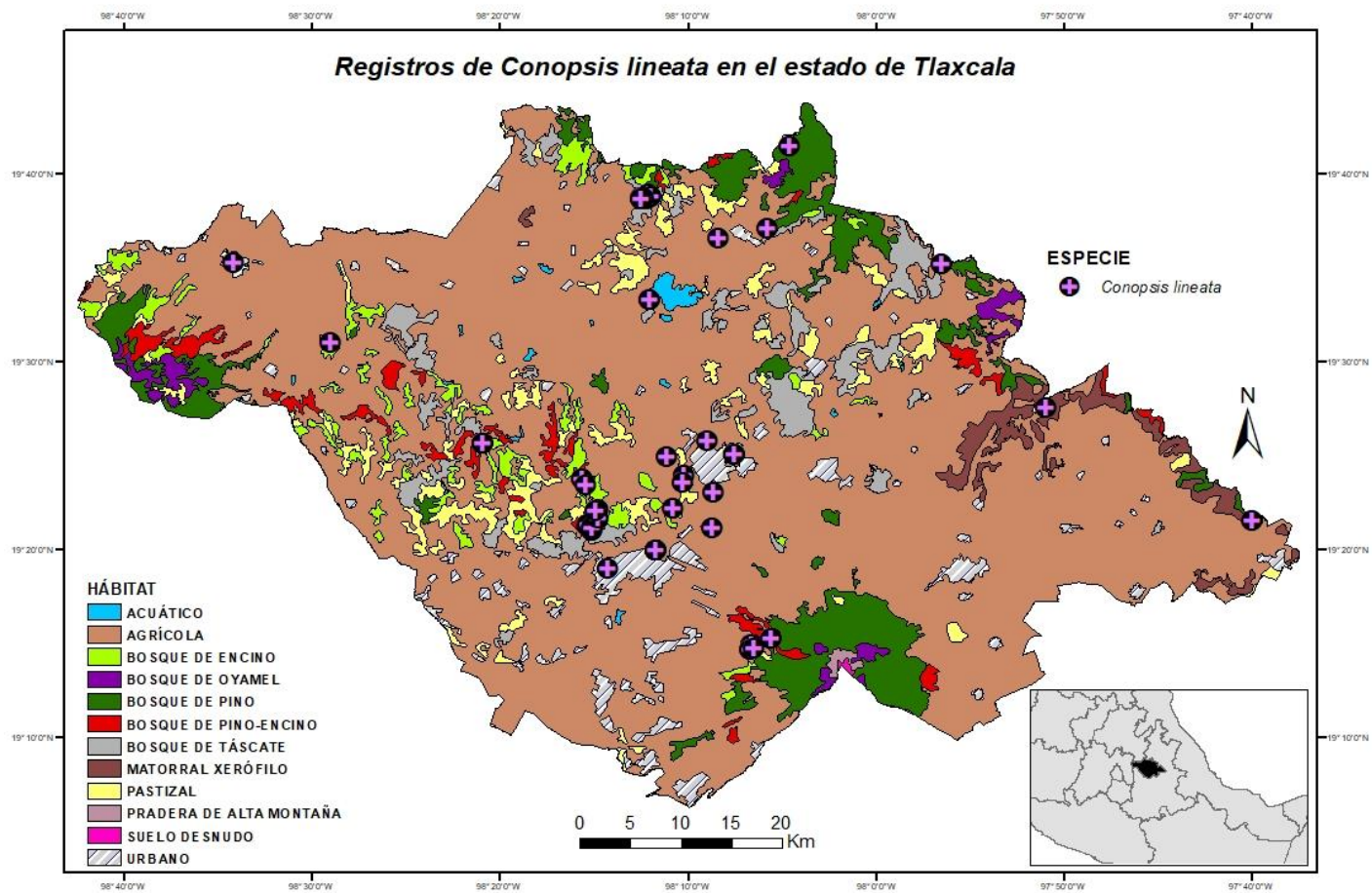


Figura 31. Registros de *Conopsis lineata* en el estado de Tlaxcala.



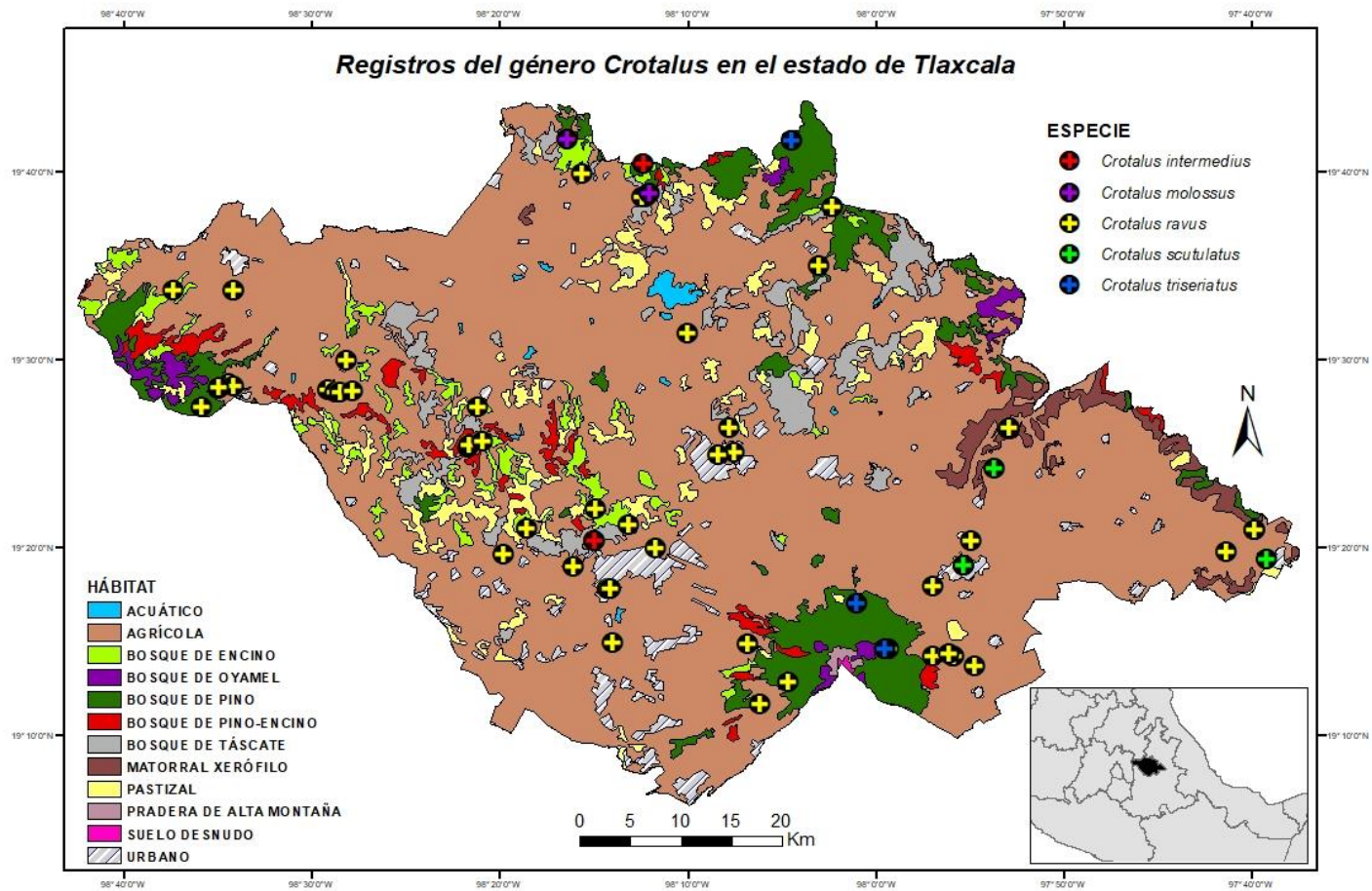


Figura 32. Registros del género *Crotalus* en el estado de Tlaxcala.

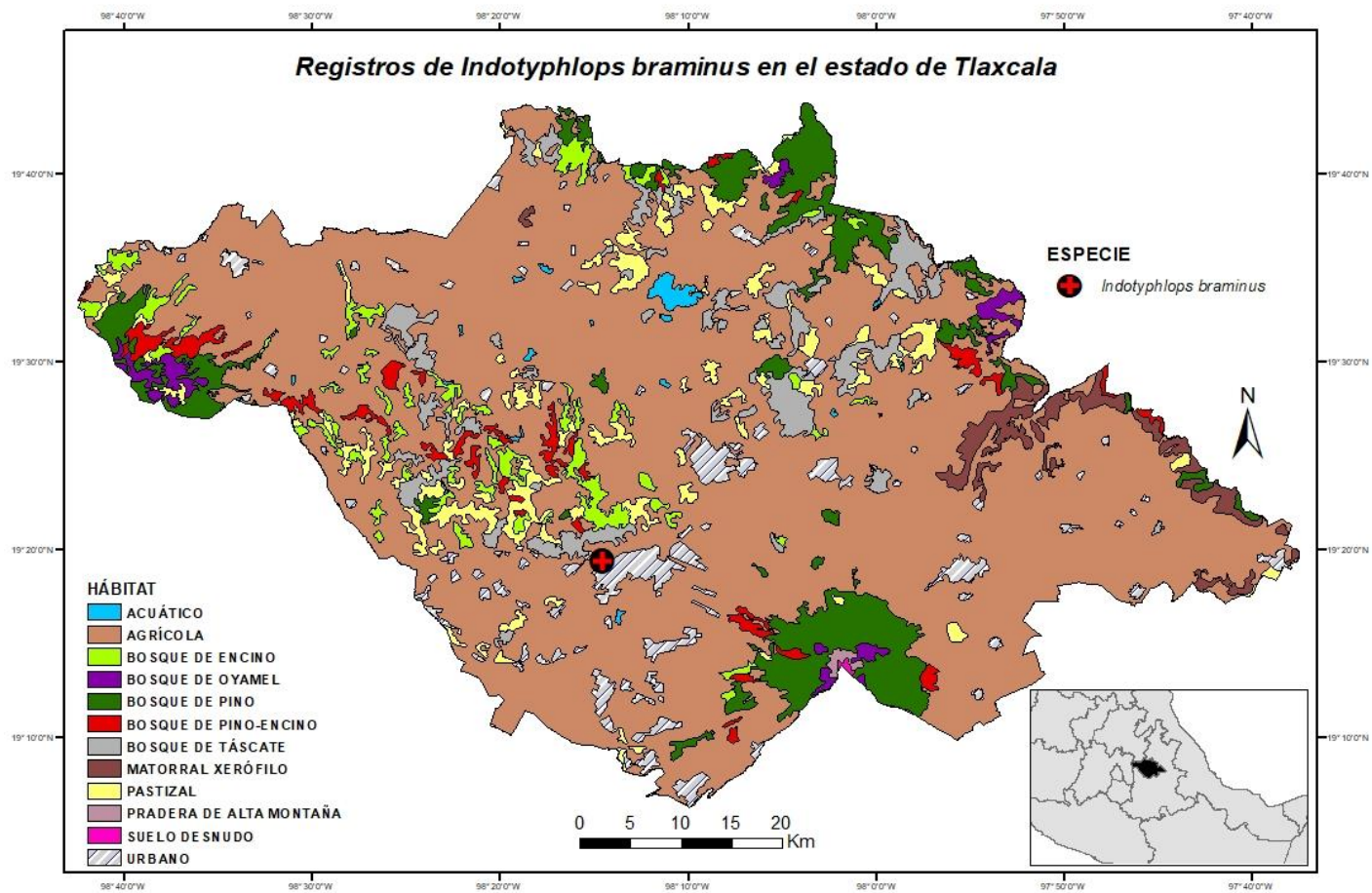


Figura 33. Registros de *Indotyphlops braminus* en el estado de Tlaxcala.

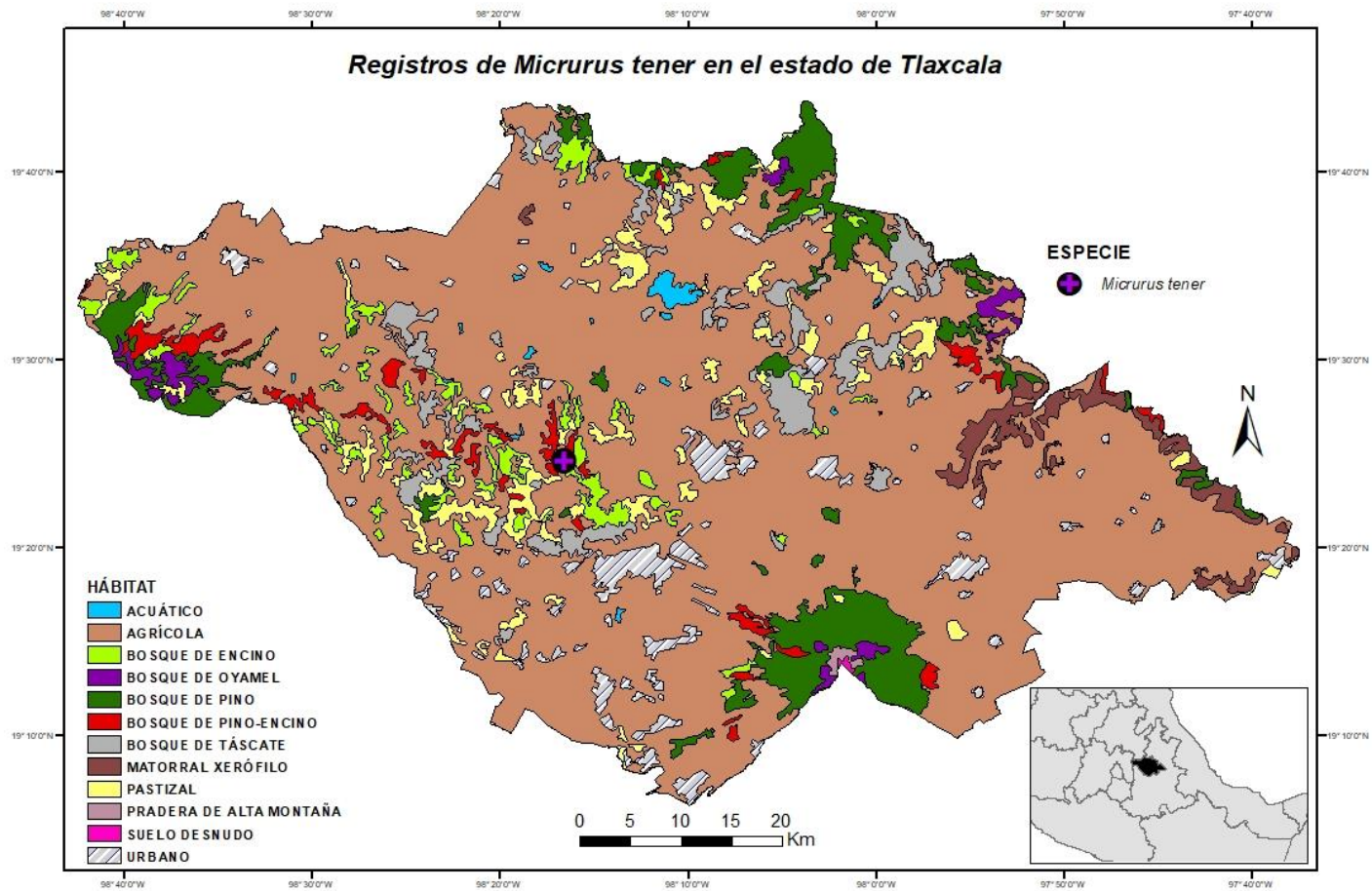


Figura 34. Registros de *Micrurus tener* en el estado de Tlaxcala.



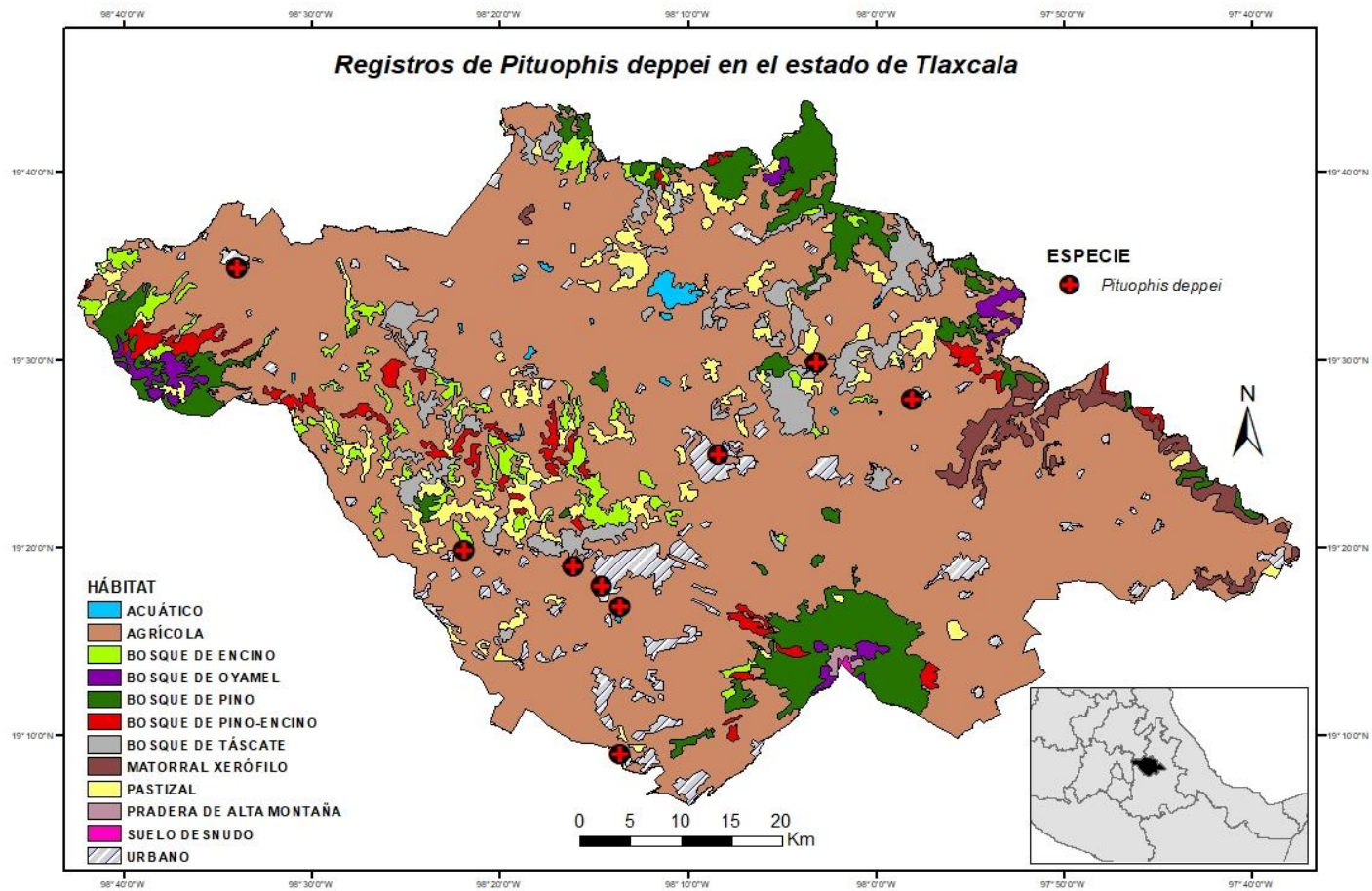


Figura 35. Registros de *Pituophis deppei* en el estado de Tlaxcala.

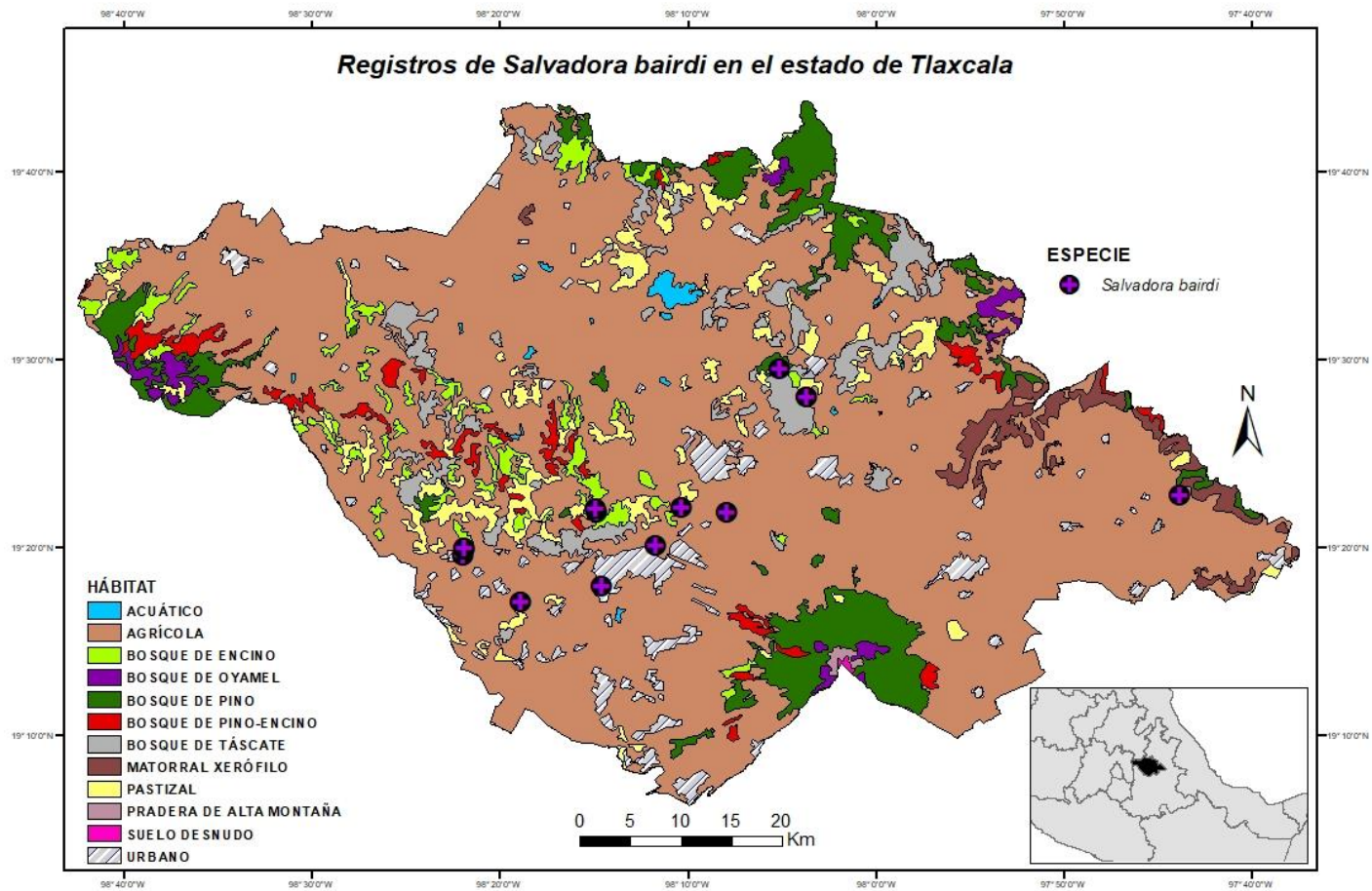


Figura 36. Registros de *Salvadora bairdi* en el estado de Tlaxcala.

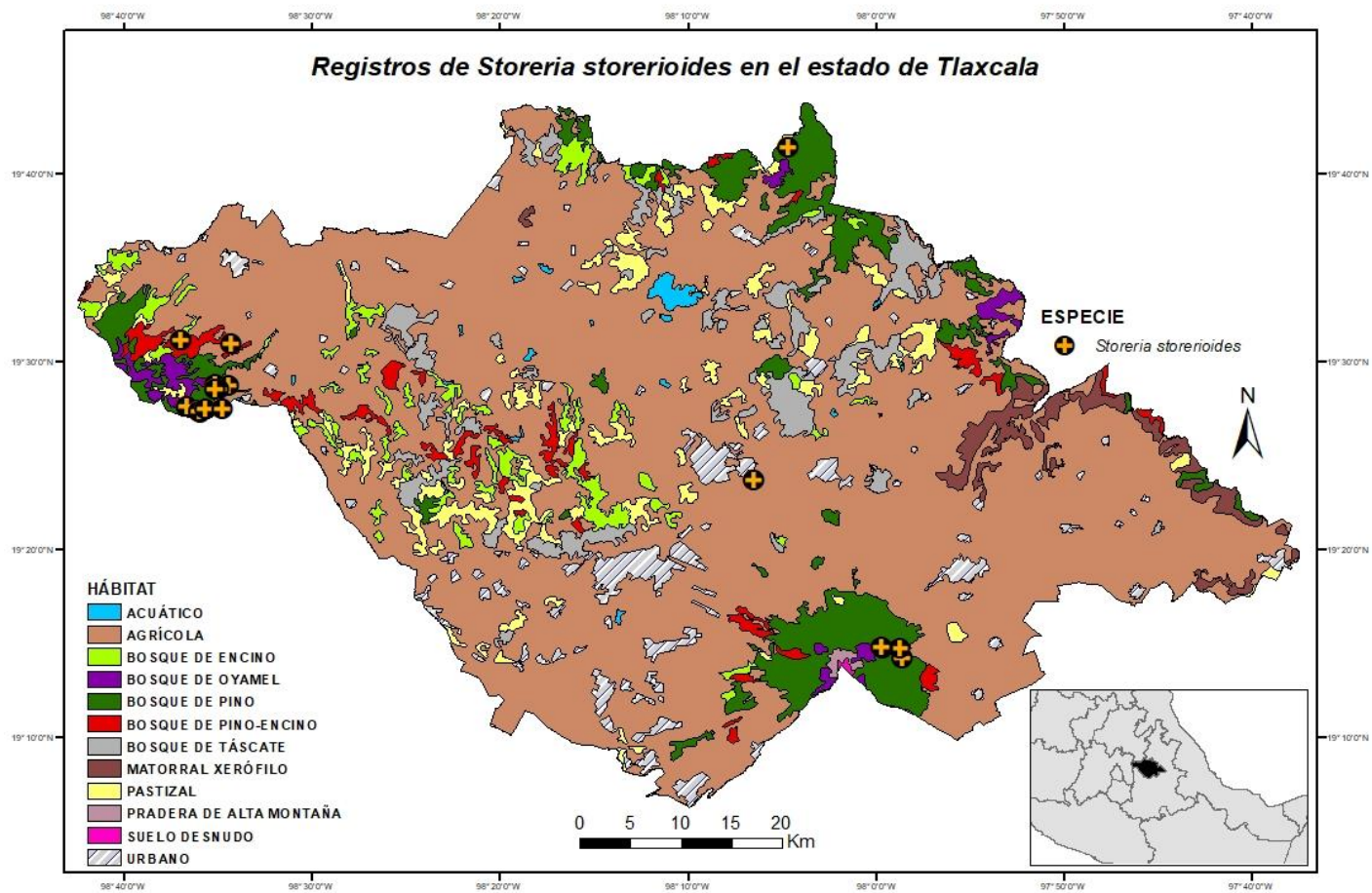


Figura 37. Registros de *Storeria storerioides* en el estado de Tlaxcala.



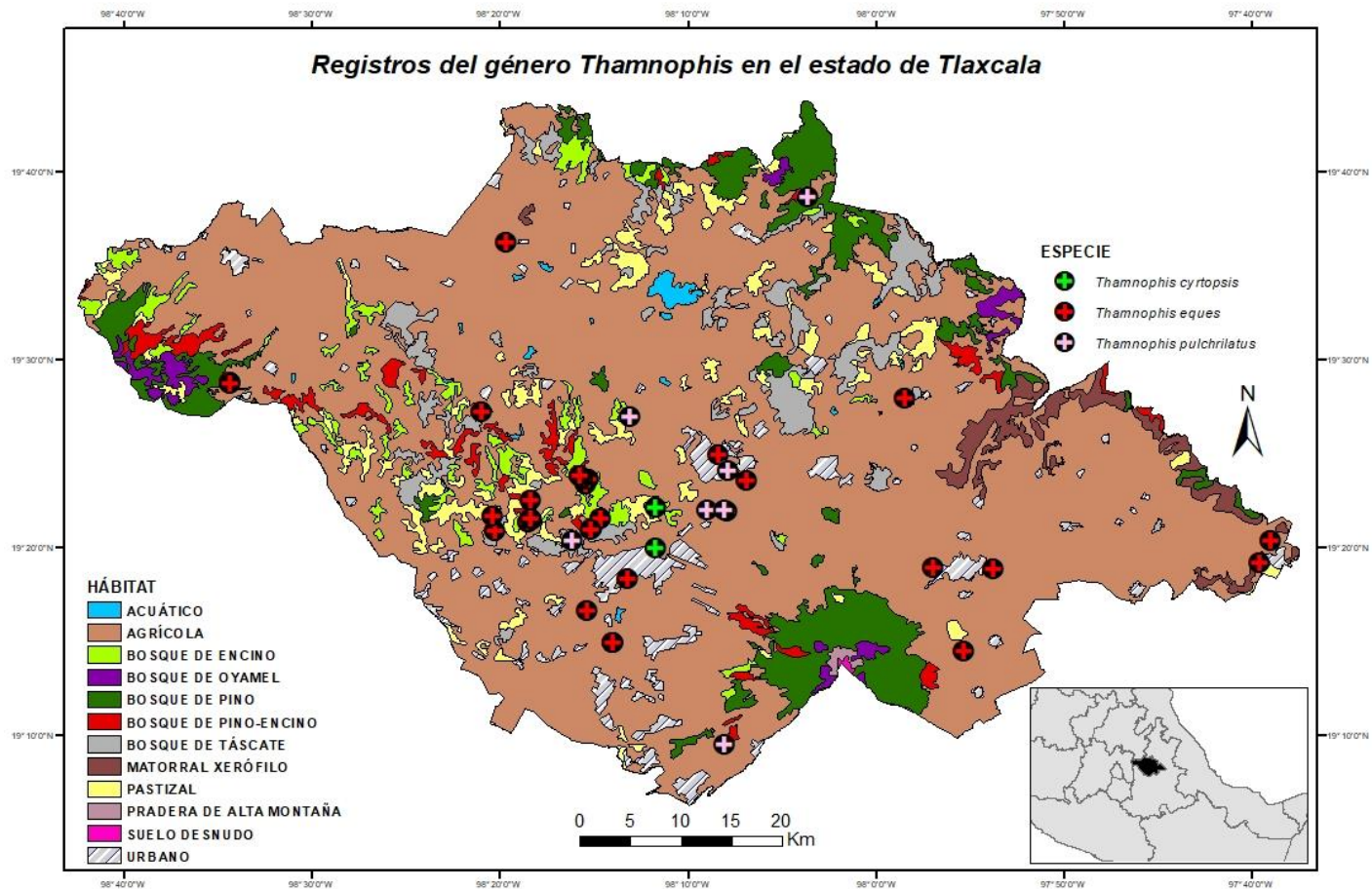


Figura 38. Registros del género *Thamnophis cyrtopsis*, *T. eques* y *T. pulchrilatus* en el estado de Tlaxcala.

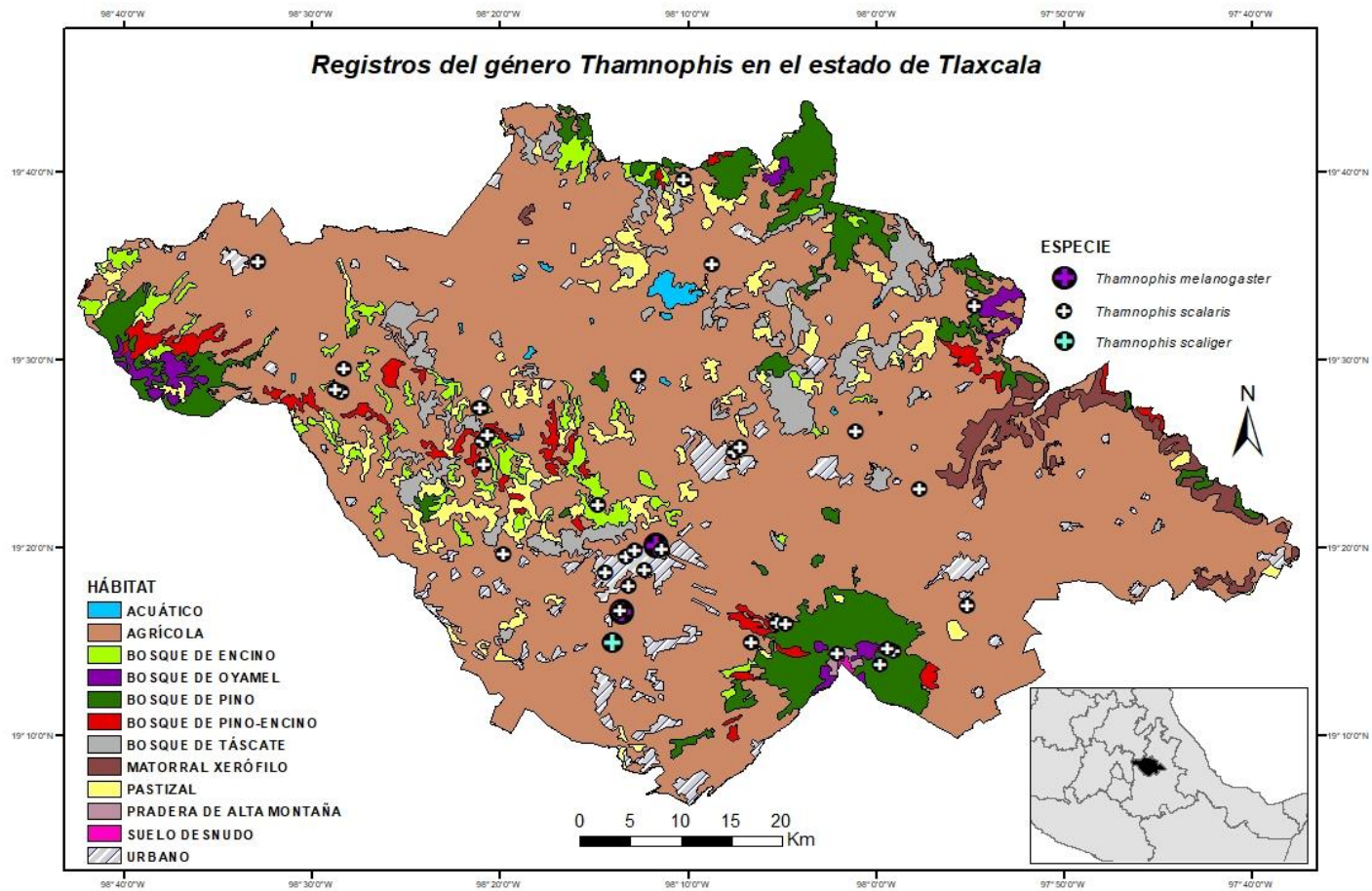


Figura 39. Registros de *T. melanogaster*, *T. scalaris* y *T. scaliger* en el estado de Tlaxcala.



#### Anexo 6. Publicaciones.

Díaz de la Vega-Pérez AH, Ramírez-Icaza O, Gómez-Campos JE, Lara-Resendiz RA, Domínguez-Godoy MA (2022) New highest elevation records of two mexican endemic spiny lizards: *Sceloporus megalepidurus* and *Sceloporus spinosus* (Squamata: Phrynosomatidae). Revista Latinoamericana de Herpetología 5(4):6-10. <https://doi.org/10.22201/fc.25942158e.2022.4.523>

Sánchez-Luna M, Ramírez-Icaza O, Díaz de la Vega-Pérez AH (en prensa) *Indotyphlops braminus* (Squamata: Typhlopidae). Revista Latinoamericana de Herpetología.