



UNIVERSIDAD MICHOACANA  
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE BIOLOGÍA

**“DISTRIBUCIÓN Y PROPUESTA DE ÁREAS PRIORITARIAS PARA  
LA CONSERVACIÓN DEL GÉNERO *Ambystoma* EN MICHOACÁN”**

**TESIS**

**PRESENTA**

**BIOL. ALBA MARÍA ORTEGA GÓMEZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y MANEJO DE  
RECURSOS NATURALES.**

**DIRECTORA DE TESIS (INTERNO):  
M.C. DOLORES DEL CARMEN HUACUZ ELÍAS**

**DIRECTOR DE TESIS (EXTERNO):  
DR. VALENTINO SORANI DALBON**

Morelia, Michoacán Agosto del 2006.

## “DISTRIBUCIÓN Y PROPUESTA DE ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL GÉNERO *Ambystoma* EN MICHOACÁN”

### RESUMEN

En el presente trabajo se analizó la distribución potencial de *Ambystoma amblycephalum*, *A. ordinarium*, *A. rivulare* y *A. velasci* en el estado de Michoacán, mediante un modelo que automatiza la distribución potencial de las especies GARP (por sus siglas en inglés Genetic Algorithm for Rule-Set Production). GARP es un software que permite conocer de una manera precisa la distribución potencial de las especies a partir de una base de datos de colecta histórica y los mapas digitales de coberturas ambientales bióticas y abióticas. GARP inicia una serie de generación de reglas de presencia-ausencia de la especie en estudio a partir de la información de las localidades georeferenciadas (longitud y latitud) de la base de datos de colecta. Los mapas utilizados en el análisis GARP fueron hidrología, uso de suelo, vegetación, temperatura, precipitación y topografía.

Se proyectaron los mapas de distribución histórica de los *Ambystoma* michoacanos debido a que esta información no fue generada en este estudio, solo fue tomada como base para dar paso al análisis de la distribución potencial con GARP.

Los registros históricos de *Ambystoma amblycephalum* corresponde a los municipios de Morelia, Tacámbaro, Salvador Escalante, Pátzcuaro, Quiroga, Zacapu y Erongarícuaro; *Ambystoma ordinarium* para los municipios de Morelia, Pátzcuaro, Quiroga, Tacámbaro, Salvador Escalante, Tzitzio, Zinapécuaro y Ciudad Hidalgo, siendo endémica para el estado de Michoacán; *Ambystoma rivulare* para Michoacán solo se ha reportado en los santuarios Chivati-huacal, Sierra Chincua y El Rosario de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, siendo endémica restringida en su distribución a esta área del Sistema Volcánico Transversal y por ultimo *Ambystoma velasci* tiene una área de distribución geográfica amplia en el país, ocupando entre el 15 y el 40% del territorio nacional; en Michoacán está registrada para los municipios de Morelia, Pátzcuaro, Salvador Escalante y Coeneo; mientras que *Ambystoma andersoni* se encuentra en la Laguna de Zacapu

perteneciente al municipio del mismo nombre y junto con *Ambystoma dumerilii* especie que se encuentra en el lago de Pátzcuaro son microendémicas para sus la localidades respectivamente.

En el análisis de distribución potencial "GARP" se obtuvo que *Ambystoma amblycephalum* potencialmente se puede encontrar en un 14.5 % de la superficie total del estado, mientras que *Ambystoma ordinarium* es la especie que potencialmente puedes estar presente en mayor superficie del estado en relación a las otras tres especies analizadas con una superficie de 14.9 % en el estado; *Ambystoma rivulare*, es la especie que presenta menor superficie de distribución potencial en relación a las otras tres especies en estudio con solo el 9.1 % de la superficie total y *Ambystoma velasci* potencialmente se puede encontrar en nuestro estado en un 13.3 %.

Se identificaron cinco áreas prioritarias para la conservación del género *Ambystoma* en el estado de Michoacán; la primera se localiza al Norte del municipio de Los Reyes con una superficie de 113.917 km<sup>2</sup>; la segunda se sitúa al Suroeste del mpio. de Zacapu con una superficie de 96.89 km<sup>2</sup>; la tercer áreas propuesta se localiza al Noreste de Huaniqueo, Noroeste de Chucándiro y Suroeste de Morelos, con una superficie de 72.55 km<sup>2</sup>; la cuarta área propuesta se localiza al Noreste del municipio de Madero con una superficie de 41.83 km<sup>2</sup>; la quinta área propuesta se localiza en el centro oeste de Hidalgo con una superficie de 129.66 km<sup>2</sup>.

Palabras clave: *Ambystoma*, Distribución potencial, GARP, Áreas prioritarias para la conservación

## Índice

1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	3
2.1 Distribución e importancia de los anfibios en Michoacán.....	4
2.2 Importancia Biológica de los anfibios.....	5
2.3 Importancia cultural de los anfibios.....	5
2.4 Importancia económica y médica de los anfibios.....	6
2.5 Importancia de la reproducción en cautiverio.....	7
2.6 Características e importancia del género <i>Ambystoma</i> en México y Michoacán.....	7
2.6.1 Orden Caudata.....	9
2.6.2 Género <i>Ambystoma</i> .....	9
2.6.3 Breve descripción de las especies.....	10
2.7. Áreas prioritarias para la conservación del género <i>Ambystoma</i> en Michoacán.....	12
2.8 Modelos predictivos de distribución geográfica.....	15
3. Objetivos.....	17
3.1 Objetivo general.....	17
3.2 Objetivos específicos.....	17
4. Área de estudio.....	18
4.1 Ubicación geográfica.....	18
4.2 Fisiografía.....	19
4.3 Geología.....	20
4.4 Hidrografía e Hidrología.....	21
4.5 Suelos.....	22
4.6 Clima.....	22
5. Métodos.....	26
5.1 Modelado de la distribución histórica del género <i>Ambystoma</i> en Michoacán.....	26

5.2 Distribución potencial de especies utilizando GARP.....	27
5.3 Áreas prioritarias para la conservación.....	30
6. Resultados y Discusión.....	33
6.1 Mapas de distribución histórica de las especies.....	33
6.2 Análisis de la distribución potencial.....	49
6.3 Problemática de los <i>Ambystoma</i> michoacanos.....	57
6.4 Propuesta de las Áreas prioritarias para la conservación del género <i>Ambystoma</i> en el estado de Michoacán.....	57
7. Conclusiones.....	66
8. Bibliografía.....	69

### Índice de cuadros

Cuadro 1. Áreas Naturales Protegidas de carácter Federal.....	13
Cuadro 2. Áreas Naturales Protegidas de carácter Estatal.....	13
Cuadro 3. Registros utilizados para hacer los modelos de predicción potencial..	27
Cuadro 4. Factores ambientales utilizados en el análisis con GARP.....	29

## Índice de figuras

Figura 1. Ubicación del estado de Michoacán. ....	18
Figura 2. Mapa de distribución histórica de <i>Ambystoma amblycephalum</i> .....	35
Figura 3. Mapa de distribución histórica de <i>Ambystoma andersoni</i> .....	37
Figura 4. Mapa de distribución histórica de <i>Ambystoma dumerilii</i> .....	39
Figura 5. Mapa de distribución histórica de <i>Ambystoma ordinarium</i> .....	42
Figura 6. Mapa de distribución histórica de <i>Ambystoma rivulare</i> .....	45
Figura 7. Mapa de distribución histórica de <i>Ambystoma velasci</i> .....	47
Figura 8. Mapa de distribución potencial de <i>Ambystoma amblycephalum</i> .....	50
Figura 9. Mapa de distribución potencial de <i>Ambystoma ordinarium</i> .....	52
Figura 10. Mapa de distribución potencial de <i>Ambystoma rivulare</i> .....	53
Figura 11. Mapa de distribución potencial de <i>Ambystoma velasci</i> .....	56
Figura 12. Mapa final de los cuatro mapas de distribución potencial de los <i>Ambystoma</i> michoacanos.....	61
Figura 13. Propuesta de las áreas prioritarias para la conservación de <i>Ambystoma</i> .....	63
Figura 14. Propuesta de las áreas prioritarias para la conservación por Especie.....	65

## ANEXOS

Anexo I. Registros de colecta.....	75
Anexo II. Nomenclatura de las colecciones científicas.....	80
Anexo III. Áreas Naturales Protegidas de carácter Federal.....	81
Anexo IV. Áreas Naturales Protegidas de carácter Estatal.....	83

## “DISTRIBUCIÓN Y PROPUESTA DE ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL GÉNERO *Ambystoma* EN MICHOACÁN”

### RESUMEN

En el presente trabajo se analizó la distribución potencial de *Ambystoma amblycephalum*, *A. ordinarium*, *A. rivulare* y *A. velasci* en el estado de Michoacán, mediante un modelo que automatiza la distribución potencial de las especies GARP (por sus siglas en inglés Genetic Algorithm for Rule-Set Production). GARP es un software que permite conocer de una manera precisa la distribución potencial de las especies a partir de una base de datos de colecta histórica y los mapas digitales de coberturas ambientales bióticas y abióticas. GARP inicia una serie de generación de reglas de presencia-ausencia de la especie en estudio a partir de la información de las localidades georeferenciadas (longitud y latitud) de la base de datos de colecta. Los mapas utilizados en el análisis GARP fueron hidrología, uso de suelo, vegetación, temperatura, precipitación y topografía.

Se proyectaron los mapas de distribución histórica de los *Ambystoma* michoacanos debido a que esta información no fue generada en este estudio, solo fue tomada como base para dar paso al análisis de la distribución potencial con GARP.

Los registros históricos de *Ambystoma amblycephalum* corresponde a los municipios de Morelia, Tacámbaro, Salvador Escalante, Pátzcuaro, Quiroga, Zacapu y Erongarícuaro; *Ambystoma ordinarium* para los municipios de Morelia, Pátzcuaro, Quiroga, Tacámbaro, Salvador Escalante, Tzitzio, Zinapécuaro y Ciudad Hidalgo, siendo endémica para el estado de Michoacán; *Ambystoma rivulare* para Michoacán solo se ha reportado en los santuarios Chivati-huacal, Sierra Chincua y El Rosario de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, siendo endémica restringida en su distribución a esta área del Sistema Volcánico Transversal y por ultimo *Ambystoma velasci* tiene una área de distribución geográfica amplia en el país, ocupando entre el 15 y el 40% del territorio nacional; en Michoacán está registrada para los municipios de Morelia, Pátzcuaro, Salvador Escalante y Coeneo; mientras que *Ambystoma andersoni* se encuentra en la Laguna de Zacapu perteneciente al municipio del

mismo nombre y junto con *Ambystoma dumerilii* especie que se encuentra en el lago de Pátzcuaro son microendémicas para sus la localidades respectivamente.

En el análisis de distribución potencial "GARP" se obtuvo que *Ambystoma amblycephalum* potencialmente se puede encontrar en un 14.5 % de la superficie total del estado, mientras que *Ambystoma ordinarium* es la especie que potencialmente puedes estar presente en mayor superficie del estado en relación a las otras tres especies analizadas con una superficie de 14.9 % en el estado; *Ambystoma rivulare*, es la especie que presenta menor superficie de distribución potencial en relación a las otras tres especies en estudio con solo el 9.1 % de la superficie total y *Ambystoma velasci* potencialmente se puede encontrar en nuestro estado en un 13.3 %.

Se identificaron cinco áreas prioritarias para la conservación del género *Ambystoma* en el estado de Michoacán; la primera se localiza al Norte del municipio de Los Reyes con una superficie de 113.917 km<sup>2</sup>; la segunda se sitúa al Suroeste del mpio. de Zacapu con una superficie de 96.89 km<sup>2</sup>; la tercer áreas propuesta se localiza al Noreste de Huaniqueo, Noroeste de Chucándiro y Suroeste de Morelos, con una superficie de 72.55 km<sup>2</sup>; la cuarta área propuesta se localiza al Noreste del municipio de Madero con una superficie de 41.83 km<sup>2</sup>; la quinta área propuesta se localiza en el centro oeste de Hidalgo con una superficie de 129.66 km<sup>2</sup>.

Palabras clave: *Ambystoma*, Distribución potencial, GARP, Áreas prioritarias para la conservación

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los estudios enfocados a conocer la distribución geográfica de las especies se centra en identificar los factores bióticos y abióticos que influyen en la misma (Scott, *et al.* 1987). Es importante conocer la distribución geográfica de las especies para su conservación. Recientemente se ha enfatizado en México la importancia de modelar la distribución de especies con fines enfocados a identificar patrones de distribución, ubicación de áreas de alta riqueza de especies y endemismo. A partir de esos análisis se pueden establecer áreas prioritarias para la conservación. Parte del reto de este esfuerzo radica en identificar los factores bióticos y abióticos que influyen en la distribución geográfica de las especies, así como predecir la presencia y ausencia de especies en áreas donde no han sido colectadas (Ceballos *et al.* 1998).

Como resultado de la ubicación geográfica (entre la región de influencia Neártica y Neotropical), como por su variada topografía y diversidad de climas, México cuenta con una amplia diversidad de especies de anfibios, estimándose a la fecha 332 especies, cantidad que coloca a nuestro país en el cuarto lugar mundial en riqueza de anfibios (González, 2002). Sin embargo, existe poca información biológica sobre muchas especies, especialmente en los órdenes Anura (ranas y sapos) y Caudata (salamandras, ajolotes y achoques). En estos grupos se desconocen aspectos básicos como el número de especies, su distribución y abundancia. Actualmente se puede afirmar que enfrentan serios problemas de conservación debido a la sobreexplotación de la que han sido objetos, por la creciente destrucción de sus hábitats y por la contaminación ambiental (Casas-Andreu y Aguilar, 1997).

Durante las últimas décadas, las poblaciones de *Ambystoma* han sufrido una alarmante disminución en su tamaño poblacional, y las que anteriormente eran abundantes hoy en día son escasas y se cuestiona la posibilidad de su extinción a corto plazo. No solo la evidente disminución en el tamaño poblacional es alarmante, sino también en los casos en donde se mantienen poblaciones en cautiverio donde mueren cotidianamente y la causa es desconocida (Daszak, *et al.* 1999).

El conocimiento sobre la distribución de las especies es de gran importancia para el monitoreo de la biodiversidad y entender los cambios que ocurren en la misma. Debido a la rapidez en la que ocurren los cambios en el ambiente es necesario aplicar herramientas que permitan agilizar y predecir de forma precisa la distribución de los organismos para establecer las áreas prioritarias para la conservación de las especies (Rodríguez, 1999).

El uso de los modelos predictivos de distribución de las especies es muy efectiva en el ámbito de la conservación, sin embargo, es importante primero determinar la efectividad del mismo (Pearce *et al.* 2004). GARP (por sus siglas en inglés Genetic Algorithm for Rule-Set Production) es un software que permite mediante su aplicación conocer de una manera muy precisa la distribución potencial de las especies a partir de una base de datos de colecta y los mapas digitales de coberturas ambientales bióticas (vegetación) y abióticas (temperatura, precipitación, pendiente, aspecto). GARP inicia una serie de generación de reglas de presencia y ausencia de la especie en estudio a partir de la información de las localidades georeferenciadas (longitud y latitud) de la base de datos de colecta (Stockwell and Peters, 1999).

En este trabajo se proyectó la distribución histórica de los *Ambystoma* michoacanos a partir de los datos históricos de colecta contenidos en la bibliografía y en consultas electrónicas de diversas colecciones científicas y posteriormente se elaboraron los mapas de distribución potencial de *Ambystoma amblycephalum*, *Ambystoma ordinarium*, *Ambystoma rivulare* y *Ambystoma velasci* mediante un sistema que automatiza la distribución potencial de las especies (GARP) y posteriormente se definieron las áreas prioritarias para la conservación del género en Michoacán a partir de los datos de distribución potencial obtenidos con GARP priorizando aquellas áreas donde potencialmente se puedan encontrar el mayor número de especies en estudio y sobreponiendo el mapa de uso de suelo y vegetación para considerar áreas homogéneas de bosque de pino, pino-encino y bosques de oyamel como las áreas prioritarias para la conservación del género *Ambystoma* en nuestro estado.

## 2. ANTECEDENTES

La declinación mundial de las poblaciones de anfibios es un tema que ha acaparado la atención de los herpetólogos en los últimos años (Blaustein y Wake, 1990; Wake 1991; Pechmann y Wilbur, 1994). Sin embargo, hacen falta datos de monitoreo de especies a largo plazo para hacer un análisis comparativo, incluso muchas especies sólo son conocidas a partir de sus descripciones originales. Esta situación es más grave cuando se trata de especies endémicas como el caso de las especies del género *Ambystoma*, endémico para Norteamérica, siendo el Sistema Volcánico Transversal la distribución mas sureña del género en nuestro país (Tihen, 1969). Ecológicamente, esta región es un asombroso conglomerado de comunidades de plantas y situaciones microambientales, en ésta área se localizan los límites de distribución del género *Ambystoma*, y se ha observado que el declive de las especies es más intenso en sus límites de distribución, tanto latitudinales como altitudinales (Shaffer, 1989). Las cinco especies del género obligatoriamente no-transformadas (neoténicas), se encuentran restringidas a lagos del Altiplano Mexicano, lo que convierte al el Sistema Volcánico Transversal y a la orilla sur del Altiplano Mexicano en un área clave para la conservación de estas especies (Shaffer *op cit*).

Muchas especies de anfibios son muy difíciles de detectar porque tienen hábitos discretos, como las ranas excavadoras o porque sus hábitats naturales son inaccesibles. Otras presentan áreas de distribución muy pequeñas. Aunque todavía se siguen identificando nuevas especies de anfibios para la ciencia; a una tasa de 15 a 25 especies nuevas por año, otras han declinado, debido a múltiples factores como el calentamiento global de la tierra, a los bajos niveles de agua, a la contaminación, la lluvia ácida y la destrucción de sus hábitats, como la tala de las selvas tropicales o el desecado de las charcas. Preservar los hábitats naturales es el paso importante para proteger a los anfibios de la extinción (Casas-Andreu y Aguilar, 1997).

## 2.1 Distribución e importancia de los anfibios en Michoacán

Se han registrado 40 especies de anfibios para el estado de Michoacán agrupadas en trece géneros pertenecientes a las familias Ambystomatidae, Plethodontidae, Rhinophrynidae, Pelobatidae, Ranidae, Microhylidae, Hylidae y Leptodactylidae, siendo la familia Leptodactylidae (ranas constructoras de nidos) la mas grande con cuatro géneros y ocho especies (Huacuz, 2005).

Fisiográficamente, Michoacán está dividido en cinco regiones caracterizadas por diferente altitud, historia geológica, vegetación y clima, lo cual representa una diversidad de hábitats para la anfibiofauna de nuestro estado y de acuerdo a las características de los hábitats para la existencia de los anfibios la vegetación en Michoacán puede dividirse en dos grandes grupos que son los bosques templados y bosques tropicales, los bosques templados son caracterizados por una capa profunda de hojarasca y humus en el suelo, tiene una distribución discontinua en el Estado. El bosque de oyamel se encuentra en las partes más altas del Sistema Volcánico Transversal y de la Sierra Madre del Sur y al parecer ésta es una de las zonas menos diversas en cuanto a anfibiofauna, una especie característica es el sapo *Bufo occidentalis*. Los anfibios característicos de este tipo de hábitat están adaptados a temperaturas bajas como es el caso de *Ambystoma ordinarium*, *Pseudoeurycea belli* y *Pseudoeurycea longicauda* (Atlas Geográfico del Estado de Michoacán).

El bosque de pino-encino es el más extenso y diverso en Michoacán; se encuentra en dos regiones: el Sistema Volcánico transversal y la Sierra Madre del Sur. En el Sistema Volcánico Transversal los anfibios más característicos del bosque de pino-encino son las salamandras del género *Pseudoeurycea* y *Ambystoma*, el sapo *Bufo occidentalis* y las ranas *Hyla eximia*, *Hyla bistincta* y *Eleutherodactylus bartsmithi*. En el Lago de Pátzcuaro y la Laguna de Zacapu están *Ambystoma dumerilli* y *Ambystoma andersoni* respectivamente. En la sierra Madre del Sur, los anfibios mas característicos de este tipo de bosque son las ranas *Hyla bistincta* y *Eleutherodactylus rufescens* (Atlas Geográfico del Estado de Michoacán *op cit*).

La mayor parte del Altiplano Mexicano se caracteriza por la presencia de bosque espinoso (árboles espinosos y gramíneas). Debido a la agricultura y al pastoreo, es común que las gramíneas sean sustituidas por cactáceas y agaves. Este tipo de vegetación constituye para los anfibios un hábitat similar al del bosque tropical caducifolio, sin embargo en el altiplano se presentan temperaturas mas bajas, mayor precipitación y heladas ocasionales. Este tipo de vegetación es un hábitat que provee poca sombra y refugio para los anfibios, por lo que muchas de las especies se asocian a cuerpos de agua permanentes, como las ranas *Rana dunni*, *Rana megapoda* y *Rana montezumae*. Algunas especies presentan adaptaciones fisiológicas y de comportamiento para sobrevivir en condiciones de baja temperatura, alta insolación y poca humedad como es el caso de la rana ovejera *Hypopachus variolosus*, así como *Hyla eximia* e *Hyla arenicolor* (Atlas Geográfico del Estado de Michoacán *op cit*).

## **2.2 Importancia Biológica de los anfibios**

Los anfibios ocupan un lugar importante en la cadena alimenticia, ya que son parte fundamental en la dieta de muchas especies de peces, serpientes, aves y mamíferos. Son de importancia indirecta para el hombre, debido a que se alimentan de insectos dañinos y fungen como controladores biológicos de plagas en vida silvestre (Flores y Gerez, 1994).

Desde el punto de vista ecológico, el equilibrio corporal de *Ambystoma* como el de otros anfibios refleja las múltiples influencias que operan en el ecosistema, por lo que las alteraciones observadas en el ambiente se verán reflejadas en estos organismos, encontrándose dentro del grupo de especies que pueden servir de indicadores de la calidad general del ambiente (Blaustein y Wake, 1995).

## **2.3 Importancia cultural de los anfibios**

La importancia cultural de los anfibios es ancestral, alfareros de diversas culturas de México y el mundo han modelado imágenes de anfibios en vasijas o pinturas en platos de barro. Actualmente se registra infinidad de nombres que corresponden a su dialecto de etnias, de los grupos indígenas, a los sapos y ranas se lo conoce como, gusarapo, dodoca, anal, billico,

uille-uille, pilligalle, pilliguille, pimbalo, jimbirico, chimbirico, uiltre, tufe ,rusu, etc. En la mitología náhuatl, el ajolote es la advocación acuática del dios Xolotl, hermano mellizo de Quetzalcoatl, monstruo a causa del nacimiento gemelar. Xolotl se encuentra asociado a la idea del movimiento y de la vida, de acuerdo con la leyenda del quinto sol. El papel del ajolote en la vida de los aztecas está documentado en varios códices entre los que se cuenta el Florentino (Bartra, 1987).

En el imaginario popular, los anfibios están relacionados con la cura del mal agüero, han sido utilizado para sanar enfermedades como la erisipela, la patada china, el espanto, las sarnas y las verrugas además para los campesinos los anfibios son los llamadores de lluvia (González, 2002).

#### **2.4 Importancia económica y médica de los anfibios**

Tradicionalmente, algunas especies de ranas y ajolotes han formado parte en la dieta de culturas del altiplano mexicano, y algunas especies de ranas nativas de Michoacán son comercializadas como alimento. En el futuro próximo, los anfibios serán de mayor importancia para el hombre, ya que algunas de sus secreciones glandulares poseen propiedades clínicas (Blaustein y Wake, 1995).

Para los humanos, los anfibios representan un almacén de productos farmacéuticos que tienen todavía mucho que ofrecer. De la piel se han aislado centenares de secreciones químicas, cuya utilidad apenas se está empezando a descubrir. Algunos de estos compuestos se emplean como analgésicos, en el tratamiento de diversas afecciones, desde las quemaduras hasta el infarto al miocardio. Otros productos se están investigando por sus propiedades antibacterianas y antivirídicas, por lo que la desaparición de los anfibios se lleva consigo posibles curas para diversas enfermedades de los humanos (Blaustein y Wake, *op cit*).

Actualmente muchas especies de anfibios son utilizados como controladores de plagas de insectos en la actividad agrícola. Hay especies venenosas, de la familia Dendrobatidae que son ranas de colores muy vistosos para advertir a sus depredadores a través de sus colores

que en su piel hay veneno y que son investigados por la medicina para usos médicos para combatir el mal de Parkinson, la enfermedad de Alzheimer, la depresión, etc. (González, 2002).

## **2.5. Importancia de la reproducción en cautiverio**

El mantenimiento de los *Ambystoma* en condiciones de laboratorio requiere de muchos cuidados; es importante el tamaño de los contenedores, la temperatura, el pH, niveles de oxígeno y cloro. Algunos investigadores han reportado que se mantienen en muy buenas condiciones en solución salina diluida la cual, además, reduce el crecimiento de hongos y bacterias. Su alimentación es variada: comida viva como tenebrios, pequeños peces, *Daphnia* y lombrices de tierra, *Artemia salina*, hígado y corazón de res o pollo, comida para peces, entre otros. Su reproducción el laboratorio es difícil, se ha reportado que los ajolotes mantienen su ciclo estacional mucho tiempo después de haber sido extraídos de vida silvestre. Sin embargo, la reproducción en cautiverio de algunas especies del género *Ambystoma* en ambiente controlado ha sido posible. En la actualidad existen grandes colonias de *Ambystoma mexicanum* y *Ambystoma dumerilii* en diversas partes del mundo (Ortega, 2000).

## **2.6 Características e importancia del género *Ambystoma* en México y Michoacán**

El género *Ambystoma*, comúnmente llamados ajolotes o achoques, ha sido usado tradicionalmente como alimento y medicina, en la porción central y norte de nuestro país, adjudicándoles propiedades curativas en el caso de enfermedades de las vías respiratorias como gripe, tos crónica, asma y dolor del pulmón, como reconstituyentes para los niños chípiles, como importante fuente de proteína para la producción de leche materna, para curar el hígado y los riñones, para sanar golpes en el cuerpo, para las manchas de la piel, empacho, dolor de muelas, la resaca e incluso hay personas de la meseta purépecha que aseguran que es afrodisíaco (Ortega, 2003). El análisis bromatológico realizado para *Ambystoma dumerilii* permitió observar que esta especie era un importante complemento alimenticio en la dieta de quienes lo consumían tradicionalmente, ya que contiene cantidades

importantes de proteínas (54 a 63 % del peso seco), un bajo contenido de lípidos y fibras (Huacuz, 2002).

Algunas de las especies del género *Ambystoma* tienen la facultad de reproducirse en estado larvario como es el caso de *Ambystoma andersoni*, del lago de Zacapu, Michoacán; *Ambystoma dumerilii*, del lago de Pátzcuaro, Michoacán *Ambystoma mexicanum*, del lago de Xochimilco, en el Valle de México y *Ambystoma taylori*, de la laguna de Alchichica, Puebla. En estas especies se observa que mantienen durante toda su vida la misma forma de larva, evento que no sucede en las demás especies de urodelos que se convierten en salamandras o tritones. Este fenómeno les ha permitido sobrevivir a las condiciones ambientales de su distribución, ya que alrededor de los lagos donde habitan hay una gran sequedad que no es apta para la vida anfibia. La neotenia se produce por la falta de la hormona tiroidea en una cantidad suficiente como para inducir una metamorfosis, los ajolotes son anfibios hipotiroideos, sufren una degeneración en su glándula tiroidea lo que provoca que produzcan poca hormona y no puedan metamorfosearse como lo hace cualquier otro anfibio (Ortega, 2000).

Algunas especies parecen no sufrir metamorfosis en la naturaleza, pero en condiciones de laboratorio se ha logrado inducirla; a estas especies se les ha llamado "neoténicos obligados inducibles", (*Ambystoma andersoni*, *Ambystoma dumerilii*, *Ambystoma mexicanum*, y *Ambystoma taylori*). Las especies facultativas como la salamandra tigre *Ambystoma velasci* pueden ser encontradas con o sin metamorfosis. La metamorfosis ocurre en lagos cálidos, pero cuando el hábitat del animal es un lago frío ésta solo se presenta en condiciones de laboratorio. Esto enfatiza el hecho de que algunas especies pueden sufrir metamorfosis de forma autónoma, dependiendo del medio ambiente y de las condiciones endocrinológicas. La neotenia puede favorecerse no sólo por el frío, sino también por un medio ambiente terrestre inhóspito o por la ausencia de predadores en el agua (Ortega *op cit*).

### 2.6.1 Orden Caudata

En México el orden Caudata consta de cuatro Familias, 18 géneros y 128 especies (Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2004). La familia Ambystomatidae está presente exclusivamente en Norteamérica, distribuidos desde en Sur de Canadá en el Este y en el Oeste de Alaska, hasta el Sistema Volcánico Transversal (Brandon, 1989). El género *Ambystoma* presenta, de acuerdo con Thien (1969), 31 especies de las cuales 3 son conocidas como fósiles. De las 28 restantes 14 se encuentran en Estados Unidos, seis de las cuales también se localizan en Canadá y una en México. El resto limita su distribución a México, sin embargo, su distribución geográfica y altitudinal no se encuentran bien establecidas (Huacuz, 2001).

### 2.6.2 Género *Ambystoma*

El género *Ambystoma* incluye las grandes salamandras terrestres. La mayoría de los organismos del género son de cuerpos corpulentos con la cabeza grande y ancha y el hocico chato. Sus ojos no presentan párpados móviles; con cuatro dedos en las patas delanteras y cinco en las posteriores. Crían en el agua y algunas especies presentan adultos terrestres con pulmones (Thien, 1969).

Las especies mexicanas del género *Ambystoma* se encuentran confinadas a regiones de media a gran altitud en el Noreste y centro del país. De estas *Ambystoma rosaceum* se encuentra en montañas con altitudes superiores a los 1600 msnm y *Ambystoma tigrinum* se encuentra en regiones similares aunque sus límites precisos aún son desconocidos. Las otras 15 especies están restringidas Sistema Volcánico Transversal y a algunos lagos del Altiplano en los estados de Michoacán (*Ambystoma dumerilii* en el Lago de Pátzcuaro y *Ambystoma andersoni* en la Laguna de Zacapu), en México D.F. (*Ambystoma mexicanum* en el Lago de Xochimilco) y en Puebla (*Ambystoma taylori* en la Laguna de Alchichica y *Ambystoma velasci* en varios lagos de la parte Este del estado (Shaffer, 1989).

### 2.6.3 Breve descripción de las especies

***Ambystoma amblycephalum***. Taylor 1940, llamado comúnmente ajolote de cabeza chata es los adultos con forma larvaria son de color café claro de tonalidad a pálido rosado, en la región ventral en tonalidad más clara que el dorso en tono crema. Adultos con una longitud hocico-cloaca (HC) 80-87 mm y de longitud total (LT) 135-142mm. La aleta caudal con una depresión a la mitad de su longitud, que se extiende hacia el dorso de la cabeza, presentando un color moteado café. Presenta manchas claras moderadamente grandes, en la hilera ventrolateral. En larvas pequeñas la orilla exterior de la aleta caudal es café oscuro. La localidad tipo es 15 km Oeste de la ciudad de Morelia, Michoacán México. De acuerdo con la NOM-079-SEMARNAT-2001 esta especie se encuentra en la categoría de riesgo sujeta a protección especial (Pr) (Huacuz, 2001; Aguilar-Miguel, 2005).

***Ambystoma andersoni***. Krebs y Brandon 1984, llamado comúnmente Achoque de Zacapu es una especie robusta, de cola corta y grandes branquias, su cuerpo es color naranja con numerosos puntos negros sobre todo el cuerpo, patas posteriores con cuatro dedos ampliamente palmeadas. Los adultos miden de 100-140 mm de longitud hocico cloaca (LHC), y de 162-235 mm de longitud total (LT). La localidad tipo es la Laguna de Zacapu en Michoacán, México, de la que es endémica. De acuerdo con la NOM-079-SEMARNAT-2001 esta especie se encuentra en la categoría de riesgo sujeta a protección especial (Pr) (Huacuz, 2001).

***Ambystoma dumerilii***. Dugés 1870, su nombre común es el Achoque del lago de Pátzcuaro, es una especie corpulenta de gran tamaño (longitud hocico-cloaca promedio 142 mm y longitud de la cola 118 mm), cabeza redondeada y aplanada dorso-ventralmente, más ancha que el tronco en posición transversal, cola aplanada lateralmente. Color generalmente verde claro, con una mezcla en tonalidades violeta y pardo, color más pálido en las extremidades y en la región ventral; en los costados con manchas blanquesinas, en cabeza y dorso, se pueden presentar puntos hundidos, como producto de la presencia de glándulas mucosas en la piel, la aleta dorsal caudal comienza en un punto de la línea media dorsal, a nivel de extremidades anteriores siendo continua hasta la punta de la cola, presentándose la altura

máxima entre las extremidades posteriores. Branquias espesas y en tonalidades oscuras. Pliegue gular visible. La localidad tipo es el Lago de Pátzcuaro Michoacán, México, de la que es endémica. De acuerdo con la NOM-079-SEMARNAT-2001 esta especie se encuentra en la categoría de riesgo de sujeta a protección especial (Pr) (Huacuz, 2001; 2002).

***Ambystoma ordinarium***. Smith y Taylor 1940, se le conoce como el ajolote michoacano. Esta especie de *Ambystoma* es de tamaño moderado, una vez completada la metamorfosis los adultos alcanzan una longitud hocico cloaca de 87 mm, mientras que los adultos neoténicos alcanzan hasta los 100 mm LHC. En esta especie es común la neotenia, sin embargo la metamorfosis puede ocurrir cuando los individuos alcanzan una longitud de 58-83 mm (Anderson, 1975). Los organismos transformados y no transformados alcanzan su madurez sexual a los 70 mm LHC aproximadamente. Los adultos transformados generalmente son de color gris oscuro a negro en el dorso, con un color uniforme en el vientre gris oscuro y opaco, algunos individuos presentan un moteado claro y otros presentan puntos claros en los lados del cuerpo (dorsal, lateral y ventrolateral), generalmente presentan 12 surcos costales (rango 10-13). La localidad tipo es 6.4 millas al Oeste de El Mirador cerca de Puerto Hondo, Michoacán, México. Es una especie endémica de la cordillera volcánica de Michoacán. De acuerdo a la NOM-079-SEMARNAT-2001 se encuentra en la categoría de sujeta a protección especial (Pr) (Huacuz, 2001).

***Ambystoma rivulare***. Taylor 1940, llamado comúnmente ajolote o samborojo, es una especie que presenta el cuerpo corto y grueso; la cola es corta y atenuada, patas relativamente pequeñas y la forma de la cabeza bien diferenciada, la coloración dorsal es negruzca; lateralmente el color es menos intenso presentando manchas café-rojizas en los costados y la cola. La superficie ventral es gris-negruzca con pequeños puntos oscuros o reticulaciones. La localidad tipo es 13 km al Oeste de Villa Victoria Estado de México, México. De acuerdo a la NOM-079-SEMARNAT-2001 se encuentra en la categoría de sujeta a protección especial (Pr). (Huacuz, 2001; 2003).

***Ambystoma velasci***. Dugés 1891, su nombre común es Ajolote tigre de meseta es una especie de tamaño medio con cuerpo más o menos robusto, en adultos transformados con

una LHC de 50-121 mm y la longitud de la cola variable menor que la LHC o sobrepasándola hasta 1.2 veces. El número de dientes maxilares-premaxilares de 69-134 y dientes vomeropalatinos 25-84. Las extremidades son relativamente largas al plegarse sobre el cuerpo estas se superponen a lo más tres pliegues costales. En membrana caudal reducida a la cola y siendo reducida mayormente en la región ventral. Los adultos transformados presentan una coloración café oscuro a negro con manchas o pequeños bloques amarillos o verde olivo esparcidos irregularmente sobre el dorso, entre los extremos de las inserciones de los miembros y en la región ventral con el mismo patrón que la región dorsal, pero con tonalidades más claras. Larvas neoténicas con LHC de  $50.3 \pm 12.06$  y LT de  $92.2 \pm 12.53$  ramificaciones secundarias de las branquias en la superficie anterior del tercer arco branquial. La localidad tipo es el Lago de Santa Isabel, Villa de Hidalgo Estado de México. De acuerdo a la NOM-079-SEMARNAT-2001 se encuentra en la categoría de sujeta a protección especial (Pr) (Huacuz, 2001). Algunas poblaciones de los lagos volcánicos del oeste de Puebla son morfológicamente distintas y es probable que puedan ser reconocidos como especies diferentes sin embargo esas poblaciones fueron identificadas a nivel de DNA (Shaffer and McKnight, 1996).

## **2.7. Áreas prioritarias para la conservación del género *Ambystoma* en Michoacán.**

En los últimos 69 años han sido decretadas 42 Áreas Naturales Protegidas de carácter Federal en el Estado de Michoacán (cuadro 1), de las cuales 6 son Parques Nacionales con una superficie de 28 933 has, una Reserva de la Biosfera (Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca) 56 259 has en el estado de Michoacán, 3 Santuarios con 144 has y 32 Áreas de Protección de Recursos Naturales con 951 720 has obteniendo una superficie total protegida de 1 022 797 has, la cual representa el 17.43 % de la superficie de nuestro estado (Villaseñor, Robles, Briseño y Amador, 2005).

Cuadro 1. Áreas Naturales Protegidas de carácter Federal del estado de Michoacán

CATEGORÍA DEL DECRETO	No. DE ANPs	SUPERFICIE TOTAL (hectáreas)
RESERVA DE LA BIOSFERA	1	56 259
PARQUES NACIONALES	6	28 933
SANTUARIOS	3	144
ÁREA DE PROTECCIÓN DE RECURSOS NATURALES	17	717 320
ÁREAS DE PROTECCIÓN DE RECURSOS NATURALES PARA LA PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	15	234 400
	TOTAL	1 022 797

Además de las Áreas Naturales Protegidas de carácter Federal han sido decretadas 27 Áreas Naturales Protegidas de carácter Estatal en el Estado de Michoacán (cuadro 2), de las cuales 17 son Zonas Sujetas a Conservación Ecológica con una superficie total de 2 977.31 has, 10 Parques Urbanos Ecológicos y un Prototipo con una superficie de 327.74 sumando un total de 3 304.95 has la cual representa el 5.63 % de la superficie de nuestro estado (Villaseñor, Robles, Briseño y Amador, *op cit*).

Considerando la superficie de las ANP's protegidas Federales y Estatales suman en total 1 026 103 has con una superficie total protegida del 17.5 % del estado de Michoacán.

Cuadro 2. Áreas Naturales Protegidas de carácter Estatal del estado de Michoacán

CATEGORÍA DEL DECRETO	No. DE ANPs	SUPERFICIE TOTAL (has)
ZONAS SUJETAS A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	16	2 977.31
PROTOTIPO	1	17.104
PARQUES URBANOS ECOLÓGICOS	10	310.64
	TOTAL	3 304.95

La mayoría de las áreas protegidas del estado se han establecido en zonas de importancia forestal del Sistema Volcánico Transversal y en cuanto a los tipos de vegetación los bosques de encino, pino, oyamel y sus diversas asociaciones son las mejor representadas, donde uno de los aspectos preocupantes es el tamaño de las mismas, que en muchos casos no son lo suficientemente extensas como para asegurar la viabilidad de las poblaciones biológicas (Villaseñor y Villaseñor, 1997).

En México existen distintas iniciativas para establecer áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad por parte de La Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad (CONABIO), se han establecido las Regiones Prioritaria Terrestres (RPT) y las Regiones Prioritarias Hidrológicas (RPH), a través de la participación de especialistas pertenecientes a instituciones nacionales, quienes seleccionaron las regiones prioritarias en el país, que por sus características biológicas son consideradas importantes para enfocar los diversos esfuerzos de conservación. La propuesta de CONABIO contempla regiones cuyas características físicas y bióticas favorecen condiciones adecuadas para la conservación, en Michoacán se reconocieron como prioritarias cinco regiones terrestres; Cerro Trompetero-Cuitzeo, Tancítaro, Sierra de Coalcomán, Infiernillo y Sierra Chincua (Villaseñor, 2005).

Otra iniciativa desarrollada en nuestro país para identificar y seleccionar la áreas prioritarias para la conservación, es el programa de Áreas Importantes para la Conservación de Aves (AICAS), cuyo objetivo es formar a nivel mundial una red de sitios que destaquen por su importancia en el mantenimiento a largo plazo poblaciones de aves que ocurren de manera natural en los mismos. La selección de las AICAS en México se hizo de acuerdo a criterios estandarizados a nivel internacional buscando características específicas como que fueran áreas lo suficientemente grandes como para mantener poblaciones viables de las especies (Villaseñor, 2005).

Briseño (2004), establece cuatro áreas importantes para la conservación de los crotalinos en Michoacán, en las que de acuerdo a los registros de sitios de colecta, se localizan especies que sin ser exclusivas para Michoacán, tienen una distribución restringida y no se localizan en

otras áreas dentro del estado. Dichas zonas se consideran irremplazables y son: Tancítaro y Coalcomán para *Crotalus pusillus*; Coahuayana y Aquila para *Porthidium hespere*.

Para los anfibios del Estado de Michoacán existe una propuesta de priorización de las 40 especies registradas para la entidad de acuerdo a su grado de vulnerabilidad, tomando como base criterios de distribución, abundancia, utilización, endemidad, distintividad taxonómica y fragilidad de hábitat (Suazo y Alvarado, en preparación).

## **2.7 Modelos predictivos de distribución geográfica**

Las colecciones científicas contienen información de las especies como registros espaciales de colecta, sitios de alimentación, o bien observaciones de presencia. Sin embargo, existen grandes superficies de la tierra en donde no se tienen registros aún, principalmente en las zonas áridas. La predicción de la distribución geográfica de las especies provee una fina y completa escala de cobertura espacial de la distribución potencial, aún en áreas donde nunca se ha colectado. Los datos obtenidos a partir de los modelos predictivos pueden ser procesados en posteriores análisis como establecer el estatus de una reserva natural, guiar eficientemente la sobrevivencia de las especies, establecer la distribución real o potencial de especies rara o en peligro, o bien para investigaciones biogeográficas (Stockwell y Peters, 1999)

En la actualidad existen diversos enfoques y métodos para modelar la distribución geográfica de las especies animales y vegetales. Ante los marcados sesgos de colecta e inventarios faunísticos aún incompletos para extensas regiones del país, es indispensable hacer uso de modelos predictivos que sirvan para proyectar presencia o ausencia de especies prioritarias. Es el caso de algunos estudios sobre la distribución de las especies los cuales se basan en correlaciones simples o múltiples entre los factores ambientales requeridos por la especie (Martínez-Meyer *et al*, 2004).

Illoldi, *et al.* (2002), en un estudio sobre la distribución de los mamíferos del Golfo de California obtuvieron una base de datos de 1542 registros de subespecies de mamíferos

terrestres en 584 localidades, repartidas en los cinco estados de la región del Golfo de California. Los tipos de vegetación explicaron mejor la presencia de las subespecies, en relación a la precipitación y la topografía al considerar los factores de manera individual.

Posteriormente estos autores realizaron un trabajo sobre la predicción de la distribución de mamíferos mexicanos usando modelos de nicho ecológico donde aplicaron el algoritmo genético de computo GARP, para modelar el nicho ecológico proyectando la distribuciones potencial de los mamíferos terrestres del Golfo de California. El modelo de distribución potencial de doce de diecisiete especies de mamíferos fueron altamente significativos, y los cinco restantes mostraron una amplia distribución en el área estudiada, concluyendo que GARP es una herramienta útil para modelar la distribución de los mamíferos con gran potencial para ser usado con fines de conservación.

Por otra parte, Peterson, *et al.* (2002) probaron la eficiencia del algoritmo genético GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction) para modelar nicho ecológico y realizar predicciones exactas sobre la distribución geográfica de veinticinco especies de aves en México. Los datos de los puntos de ocurrencia de las especies fueron introducidos al algoritmo en forma de coordenadas geográficas y se digitalizaron mapas de variables ambientales incluyendo precipitación media anual, elevación, temperatura media anual, y vegetación potencial. Dos estados de la Republica Mexicana fueron usados como áreas de prueba ubicando los puntos a partir de los modelos de predicción. El éxito obtenido en la prueba indicó que el modelo de nicho ecológico (GARP) provee una útil herramienta en ecología, biogeografía y conservación.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo general

Analizar la distribución potencial de los *Ambystoma* michoacanos e identificar las áreas prioritarias para la conservación del género en el estado mediante el uso del modelo predictivo GARP.

#### 3.2 Objetivos específicos

1. Proyectar la distribución histórica de las especies del género y establecer la distribución potencial de los *Ambystoma* michoacanos.
2. Identificar las áreas prioritarias para la conservación del género *Ambystoma* en Michoacán.

## 4. ÁREA DE ESTUDIO

### 4.1 Ubicación geográfica

El estado de Michoacán de Ocampo, originalmente denominado Michihuacan, del náhuatl *michi* (pescado), *huac* (afijo posesivo) y *an* (lugar), significa, de acuerdo con éstos términos “lugar de los que poseen el pescado”. Se localiza en la región centro-occidente del país y se ubica entre los 20°23'44” y 18°09'49” N y los 100°04'48” y 103°44'20' W (Figura 1). Su posición corresponde fisiográficamente tanto a la depresión del río Lerma, como a la porción central del Sistema Volcánico Transversal, la depresión del río Balsas y la Sierra Madre del Sur y Planicies Costeras del Pacífico, abarcando una superficie de 59,864 km, equivalente al 3% de la extensión del país (Garduño, 2005).

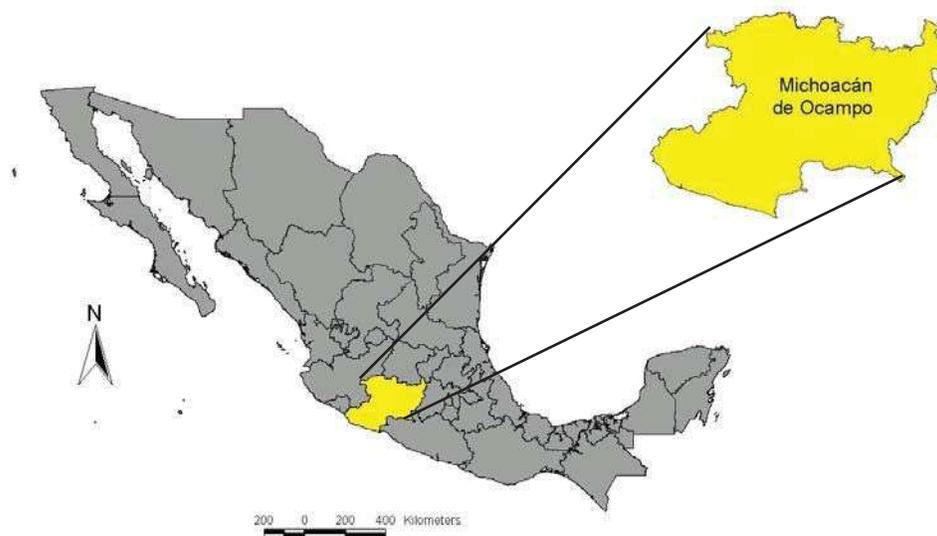


Figura 1. Ubicación del estado de Michoacán.

El territorio del estado de Michoacán, limita al norte con los estados de Jalisco y Guanajuato, al noreste con Querétaro, al este con el estado de México, al sureste y sur con Guerrero, al oeste con Colima y también con Jalisco y al suroeste con el Océano Pacífico. Por situarse al sur del trópico de Cáncer, le corresponde la zona tropical, pero las diferencias de altura que presenta gran parte del relieve michoacano son el factor que influye más intensamente en las condiciones climáticas, y así, equivalen a las de la zona templada (Correa, 1974).

## 4.1 Fisiografía

Las provincias fisiográficas se definen, por su morfología, estructura e historia geológica, la hidrografía y los suelos (Correa, 1974). Actualmente la delimitación se puede apoyar en los modelos digitales de terreno y las imágenes de satélite que mediante ciertos procesos de realce permite visualizar los rasgos geológicos y estructuras. El estado de Michoacán tiene cinco provincias fisiográficas, en las que hay discrepancias en los límites y en los nombres que se les fijan y de acuerdo con Antaramián y Correa (2003), el estado se divide en:

**Planicies Costeras.** Esta región se localiza entre la Sierra de Coalcomán y el litoral del Océano Pacífico, en una angosta e ininterrumpida faja de terreno frente a un litoral de 208.5 km de longitud que comprende desde la desembocadura del Río Balsas (Boca de San Francisco), hasta la del río Coahuayana (Boca de Apiza), estos ríos establecen los límites políticos con los estados de Guerrero y Colima respectivamente. La topografía es irregular y accidentada hay en el litoral algunas planicies aluviales formadas en las inmediaciones de las desembocaduras de los ríos costeros, interrumpidas por proyecciones de los brazos montañosos de la sierra adyacente.

**Sierra Madre del Sur.** Se ubica entre la planicie costera al Sur y la depresión del Tepalcatepec; tiene más de 100 kilómetros de ancho en dirección Noroeste a Sureste, su relieve es montañoso con prominencias que rebasan los 2000 msnm. De las prominencias destacan los cerros de Coalcomán (2895 m) y Cantador (2436 m), con una superficie aproximada de 13,929 km<sup>2</sup>.

**Depresión del Balsas.** Es la región menos elevada del estado, la más cálida y seca que corresponde a la porción de la cuenca del río Balsas de la entidad. Ocupa la parte sur del estado en los límites con Guerrero. Aquí se localiza la Tierra Caliente con sus dos subregiones: la que se ubica en los valles de la cuenca del río Cutzamala, tributario del Balsas en la porción oriental. Esta región colinda al norte con la Sierra del Centro, al sureste con la sierra de Coalcomán y al oeste termina en donde confluyen la Sierra Madre del Sur, El Sistema Volcánico Transversal y la Sierra madre Occidental en los estados de Jalisco y

Colima. La región continúa al este con el Estado de México y Guerrero. Tomando en cuenta todos sus afluentes ocupa una superficie de 32,950 km<sup>2</sup> (Correa, 1974).

**Sistema Volcánico Transversal.** La actividad volcánica de este sistema montañoso es notable. La longitud de esta cordillera es de 900 km, y 130 km de ancha y se eleva en promedio 2,500 msnm. Las montañas están constituidas de rocas volcánicas y lava, que las hacen más resistentes a la erosión. El Sistema Volcánico Transversal, es considerado como la división fisiográfica y biogeográfica entre América del Norte y Centroamérica (desde 1940), además de constituir una frontera climática. La región centro atraviesa el estado de este a oeste entre los paralelos 19° 10' y 19° 50' N, se extiende a lo largo de más de 300 km, entre los meridianos 100° 10' y 103° 20' W. La sierra del centro de Michoacán está formada por las ramificaciones orográficas que parten del nevado de Toluca, de este a oeste, y las que parten del nudo de Tancítaro de oeste a este, reuniéndose aproximadamente al sur de Morelia con una superficie aproximada de 33,492 km<sup>2</sup> (Correa, *op cit*).

**Altiplano.** Esta región está constituida por tierras predominantemente planas con inclinación noroeste (Correa, 1974), corresponde a la porción más meridional del Altiplano Mexicano, cuyo límite sur lo marca el Sistema Volcánico Transversal. Es la porción Michoacana que forma lo que localmente se conoce como el Bajío, que en el occidente incluye además a los estados de Jalisco, Guanajuato y Querétaro principalmente con una superficie aproximada de 3,905 km<sup>2</sup> (Correa, *op cit*).

#### **4.2 Geología** (tomado del Atlas Geográfico del Estado de Michoacán, 2003)

En el estado de Michoacán existe un importante paquete de rocas con una historia geológica que data desde el Triásico hasta el presente con un rango de tiempo geológico desde hace 215 millones de años hasta el presente, además de que comprende parte de los terrenos de dos provincias geológicas: el 45% de la superficie del estado se encuentra en el Sistema Volcánico Transversal y el 55% restante en la Sierra Madre del Sur. En la primera, los principales factores geológicos que han dado lugar al paisaje son el vulcanismo y sus fenómenos asociados, y en la segunda son el magnetismo y el tectonismo pero en la zona

costera es importante la erosión marina, además de los fenómenos tectónicos. El relieve estructural original de la provincia del Sistema Volcánico Transversal está constituido por rocas volcánicas jóvenes del Cenozoico Superior predominando gran cantidad de estructuras volcánicas como los conos cineríticos, aparatos volcánicos complejos, domos riolíticos y andesíticos, coladas de lava basáltica y depósitos piroclásticos. Sobre las estructuras volcánicas más jóvenes el desarrollo natural de los procesos geomorfológicos superficiales ha sido incipiente, pero recientemente los procesos erosivos están siendo acelerados por las actividades humanas.

En la Sierra Madre del Sur se han postulado diferentes eventos tectónicos y magmáticos desde el Mesozoico hasta el reciente, predominando las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Es en esta provincia en donde se encuentran los terrenos mas antiguos de Michoacán, así como numerosos yacimientos de hierro que constituyen la región con mayores reservas del país también existen yacimientos de otros minerales como cobre, oro y plata.

#### **4.3 Hidrografía e Hidrología** (tomado del Atlas Geográfico del Estado de Michoacán, 2003)

Michoacán, dadas sus condiciones físicas, cuenta con un número considerable de manantiales; topográficamente se ubican en las laderas de las montañas. Con relación a la geología, se manifiestan en terrenos con dominio de rocas de origen volcánico, además, presenta un sistema fluvial considerable que tiene como arterias principales a dos grandes ríos, el Lerma y el Balsas; los ríos de la región de Arteaga y Coalcomán no tienen ningún afluente principal pues desembocan directamente en el Océano Pacífico, todos se originan en la Sierra Madre del Sur y fluyen en una dirección general de norte a sur, sus cuencas son de relieve accidentado, de manera que el aprovechamiento del agua para actividades agrícolas es de escasa importancia.

Existe una pequeña red hidrológica representada por los lagos de Cuitzeo, Pátzcuaro y Zirahuén, el lago de Cuitzeo es alimentado por el Río Grande de Morelia y el de Querendaro. El lago de Pátzcuaro está alimentado por numerosas corrientes subterráneas y superficiales,

de los que destacan los ríos San Gregorio y Chapultepec. El lago de Zirahuén es la cuenca más pequeña de las antes mencionadas y está alimentado por los arroyos Manzanillo y Zinamba.

Los manantiales son una fuente importante para el abastecimiento de agua en el estado, es común encontrarlos en las maderas de los macizos montañosos y en los valles de los ríos, a una altitud entre 1000 y 2000 msnm, principalmente en zonas boscosas con alta capacidad de infiltración, almacenamiento y regulación del agua.

#### **4.4 Suelos** (tomado del Atlas Geográfico del Estado de Michoacán, 2003)

Debido a la gran variedad de ambientes y a las características litológicas, la entidad presenta una gran heterogeneidad de suelos. La clasificación de suelos de la Organización Mundial para la Alimentación (FAO), ajustada a las condiciones de Michoacán muestra, en términos generales que los principales tipos de suelos presentes en la entidad son los Vertisoles, Regosoles, Andosoles, Luvisoles, Cambisoles y Feozems (INEGI, 1985). Junto a las riberas de los ríos y en las llanuras aluviales encontramos Fluvisol. En el Altiplano uno de los más frecuentes es el Vertisol; en las zonas elevadas de las serranías y las prominencias el Andosol, también hay Feozem, Luvisol, Litsl y Gleysl. El Andosol es la unidad de suelo que ocupa la mayor superficie de la Sierra del Centro y Sierra de Coalcomán, en áreas más restringidas hay Luvisol, Litosol y Regosol. En los valles intermontanos se presenta un recubrimiento de aluvión, suelos residuales y tobas alteradas. En las laderas de algunos lomeríos se ha desarrollado el Litosol. Son frecuentes las zonas de malpais, con afloramientos lávicos producto de la actividad volcánica. En los valles de Tierra Caliente predominan Vertisoles, Feozem y Regosol, otros menos frecuentes son el Cambisol y el Litosol (Atlas Geográfico de Michoacán, 2003).

#### **4.5 Clima**

En el estado de Michoacán se registra una gama de climas que incluye desde los más cálidos del país, en la región de Tepalcatepec (Bs), hasta los semifríos en las zonas altas de la

Meseta Purépecha y de Mil Cumbres (Cw). Aunque se presentan climas secos, semisecos y templados relativamente húmedos, el régimen de humedad predominante es el subhúmedo con lluvias en verano y una estación invernal seca bien marcada (Antaramián, 2005).

Los climas presentes en el estado son, de acuerdo a la clasificación de Copen:

Aw. Clima tropical lluvioso, con lluvias predominantes en verano. Presente en la región de la costa y en las porciones de mayor altitud en la Depresión del Balsas, así como en las estribaciones de la Sierra Madre del Sur.

Bs. Clima seco estepario, cálido con lluvias en verano. Clima característico de las áreas más bajas de la Depresión del río Balsas.

Cw. Templado subhúmedo con lluvias en verano. Se presenta en gran parte de la región de la Altiplanicie, en la Sierra Madre del Sur, así como en zonas de transición entre las sierras del Sistema Volcánico Transversal y la Depresión del Balsas.

Cf. Templado con lluvias todo el año, característico de las cumbres más altas del Sistema Volcánico Transversal.

El 27.9% de la superficie estatal cuenta con precipitaciones medias anuales inferiores a 800 mm, 62% entre los 800 y 1,200 mm y, 9.2% superiores a los 1,200 mm, registrando una precipitación media anual de 929 mm, habiéndose considerado un periodo de observación de 6º años (Antaramián, 2005).

Las principales causas de la precipitación son la invasión de masas de tipo monzónico de aire caliente y húmedo proveniente del mar, y los ciclones tropicales. Las lluvias se presentan en verano y otoño en casi todo el estado, aunque existen pocas zonas que reciben precipitación todo el año; los meses de invierno son generalmente secos y las pocas lluvias son causadas por los frentes fríos. La lluvia media anual es de 961 milímetros, que equivale a un volumen de 57760 millones de metros cúbicos (Antaramián, *op cit*).

Por sus características climáticas se distinguen en el estado dos grandes áreas (INEGI, 1985):

1. Clima de la Sierra Madre del Sur y de la Escarpa limítrofe del Sur. En esta región van de cálido a templados en función a la altitud y de menor a menor humedad de norte a sur.

a) Climas secos muy cálidos y semisecos muy cálidos: se localiza en el centro-sur del estado, en una franja oriental de noreste a sureste que afecta la depresión de Tepalcatepec. Presentan lluvias en verano relativamente abundantes, sin embargo la evaporación es muy intensa debido a las altas temperaturas que se registran como resultado de fenómenos de inversión atmosférica en las capas superiores del aire. Es una zona de las áreas más cálidas del país. La vegetación natural es de selva baja caducifolia y matorrales.

b) Climas cálidos: los climas cálidos se registran en el sur y centro de la entidad rodeando a los secos y semisecos fundamentalmente en valles intermontanos, costas y laderas de la sierra, que no exceden los 1,200 msnm. Las temperaturas medias anuales varían de los 23°C y los 28°C y la lluvia total al año va de 853 mm a 1041 mm. La precipitación se concentra en el verano y en invierno es escasa. La vegetación a la que se asocia es a la selva baja caducifolia. En algunos lugares protegidos en donde se acumula humedad crecen selvas medianas.

2. Climas del Sistema Volcánico Transversal. Al norte de las depresiones del Balsas y del Tepalcatepec se produce la transición entre los climas cálidos de la Sierra Madre del Sur y los templados y semifríos de las subprovincias de Mil Cumbres y la Meseta Purépecha del Sistema Volcánico Transversal. Se desarrollan en altitudes que van desde los 1,600 msnm en los bajíos y zonas lacustres, hasta los 3842 msnm en la cumbre del Tancítaro.

a) Climas Semicálidos: Se desarrollan en la región mas septentrional del estado, por el norte de la Piedad, la Ciénega de Chapala, en el territorio de los Bajíos Guanajuatenses y en una franja que la atraviesa al sur de la Meseta Purépecha y Mil Cumbres. La temperatura media anual de los Bajíos Zamoranos es de 21°C. La precipitación anual varía de 650 mm en los relativamente húmedos a los 1692 mm en los propiamente húmedos.

b) Climas Templados: Predominan en la Meseta Tarasca, en los Valles y Mesetas de Mil Cumbres, en los Bajíos de Zacapu, Cuitzeo, Morelia, Tlalpujahuá, Zitácuaro y Uruapan. Se

caracterizan porque sus temperaturas anuales varían de los 18°C en los valles y bajíos hasta los 12.5 en las Sierras de Mil Cumbres y del Centro de la Meseta Purépecha. Las lluvias presentan rangos muy amplios (646-1642 mm al año) y permiten clasificar a los climas templados en varios tipos según su humedad. Las comunidades vegetales en los lugares con estas características son fundamentalmente de bosques de pino, pino-encino y pastizales.

c) Climas Semifríos: Se localizan en las elevaciones superiores a 2500 msnm de la Meseta Purépecha y Mil Cumbres, entre las que destacan una serie de formaciones volcánicas como el Pico del Tancítaro, Uripitijuata, El tecolote, Emiliano Zapata, El Huacal y varios mas. La temperatura media anual es de 9°C.

## 5. MÉTODOS

### 5.1 Modelado de la distribución histórica del género *Ambystoma* en Michoacán

La información que proporcionan las colecciones científicas acerca de las especies es la única fuente confiable para conocer la distribución histórica de las mismas (anexo I), así como la información contenida en libros y artículos con referencia a las localidades y datos de colecta de las especies, sin embargo, es indiscutible que los datos reflejan un sesgo importante debido al interés individual del investigador y los sitios de colecta no están distribuidos al azar sino en sitios accesibles cerca de carreteras y poblados, y para compensar este sesgo es importante elaborar proyecciones sobre la distribución histórica extrapolando áreas que tengan las condiciones adecuadas asumiendo que las especies ocurren en esos sitios porque se encuentran las condiciones adecuadas (Graham. *et al* 2004).

Para el presente estudio, se utilizaron los registros obtenidos a partir de las bases de datos de las colecciones científicas de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 1998), así como los registros de la colección científica de la Universidad de Berkely los cuales fueron georeferenciados mediante el programa GeoLocate 2.02 (Ríos y Bart, 2001). En el anexo II se muestra el nombre de las localidades consultadas en la bibliografía con registros de *Ambystoma* y posteriormente se generaron los modelos predictivos de distribución para aquellas especies que tuvieran más de cinco localidades de colecta.

Posteriormente se procedió a depurar la lista de las localidades de colecta en donde no se consideraron las localidades que no fueron correctamente ubicadas geográficamente además de que se eliminaron los registros repetidos (anexo II), y subsiguientemente se elaboró la base de datos para cada especie. Una vez terminada la base de datos en Excel el archivo se guardó en formato DBF IV y posteriormente se trabajaron los puntos en el programa ArcView versión 3.2. Posteriormente se elaboraron los mapas de distribución histórica para cada especie, sobreponiendo los puntos de las localidades históricas de colecta en el mapa del estado de Michoacán.

En el modelado de la distribución potencial de las especies se trabajó con cuatro especies del género *Ambystoma*, de las cuales *Ambystoma ordinarium* es endémica para el estado de Michoacán.

## 5.2 Distribución potencial de especies utilizando GARP.

Para estimar la distribución potencial de las especies se utilizaron los mapas de CONABIO, 1998 de curvas de nivel para la obtención del modelo digital de terreno, el mapa de vegetación, precipitación, humedad, hidrología, temperatura y uso de suelo.

Para predecir la distribución potencial del género *Ambystoma* en el Estado de Michoacán, se utilizó el modelo de algoritmos genéticos GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction). Este método permite generar áreas de distribución potencial de las especies, considerando los factores bióticos y abióticos que la determinan (Stockwell y Peters, 1999).

Posteriormente se crearon modelos de distribución potencial para cuatro de las seis especies del género *Ambystoma* registradas para el estado de Michoacán debido a que no se consideraron en el modelado las dos especies microendémicas. El cuadro 3 muestra el número de registros que se utilizaron para el modelado de la predicción potencial de distribución de las especies de *Ambystoma*.

Cuadro 3. Registros utilizados para hacer los modelos de predicción potencial.

Especie	No. de registros de colecciones científicas para Michoacán	Registros de otros Estados de la República Mexicana
<i>Ambystoma amblycephalum</i>	11	Michoacán, Guanajuato y Jalisco
<i>Ambystoma ordinarium</i>	39	Endémico de Michoacán
<i>Ambystoma rivulare</i>	5	Michoacán y Estado de México
<i>Ambystoma velasci</i>	6	Chihuahua, DF, Durango, Edo. México, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Nvo. León, Puebla y SLP.

El algoritmo GARP operó a partir de la información incluida en la base de datos de las especies en estudio las cuales contiene las localidades de colecta con referencia geográfica (longitud y latitud) y las condicionantes ambientales, que se refieren a la relación que tienen las variables abióticas como precipitación, temperatura, altitud, hidrología, geología, entre otras y las bióticas como vegetación.

GARP utilizó los datos geográficos junto con una serie de condicionantes ambientales para hacer un modelado preliminar de nicho ecológico y la predicción inicial de la distribución de la especie. Esta predicción inicial se corrobora en base a dos conjuntos de puntos seleccionados al azar: 1250 puntos geográficos muestreados de los puntos de presencia conocidos y 1250 puntos de prueba muestreados del paisaje general donde la presencia es menos probable. La precisión de la predicción se calcula con la suma de los puntos que fueron correctamente predichos con la especie presente y los que fueron correctamente predichos con la especie ausente, dividido entre el número total de puntos geográficos en los dos conjuntos (Peterson, 2001).

Para el modelado de la distribución potencial de las especies en este trabajo se realizaron 1000 iteraciones y se utilizó la combinación de todas las reglas. Para la generación del mapa final, se tomaron en cuenta los mejores modelos en función al modelo propuesto por Anderson, et al (2003), que considera los índices de error de omisión y comisión, generados en cada modelo de predicción.

El cuadro 4 presenta la lista de factores, su descripción y los mapas digitales empleados. Se consideraron como las variables más importantes ya que en conjunto reflejan la interacción con otros factores para así determinar los procesos de formación del suelo, topografía y disponibilidad de agua lo cual determina en la mayoría de los casos la distribución de las especies.

Cuadro 4. Factores ambientales utilizados en el análisis con GARP

Cobertura	Descripción	Mapa digital utilizado
Clima	Cobertura geográfica que muestra Las entidades climáticas	García, E. – Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 1998. "Climas (Clasificación de Köppen, modificado por García)". Escala 1:1 000 000. México.
Topografía	Cobertura basada en las curvas de nivel de estado, que considera los gradientes altitudinales cada 200 metros	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 1998. "Topografía de México". Escala 1:250 000. Extraído del Modelo Digital del Terreno. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México.
Temperatura	Información estadística de 1800 estaciones que componían el sistema de observación climatológica en el país.	Vidal-Zepeda, R. (1990). Temperatura media anual en "Temperatura media", IV.4.4. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
Precipitación	Precipitación promedio anual (mm) presente en el estado.	Vidal-Zepeda, R. (1990), Precipitación media anual en "Precipitación", IV.4.6. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1: 4 00 000. Instituto de Geografía, UNAM. México
Uso de suelo y Vegetación	Cobertura con los distintos tipos de vegetación y usos de suelo en la entidad	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) – Instituto Nacional de Ecología (INE), (1996). "Uso de suelo y vegetación". Agrupado por CONABIO, (1998). Escala 1:1 000 000. México.
Hidrología	Red hidrográfica del Estado de Michoacán	Madrey-R, L. E. y Torres-Ruata, C. (1990), "Hidrografía e hidrometría", IV.6.1 (A). Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1: 4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Fuente: <http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto/metadatos.pl>

GARP realizó diferentes pruebas y el modelo resultante se obtuvo en un formato para ser desplegado en ArcView, esbozando la distribución geográfica potencial de la especie en el área indicada. Las variables ambientales que se emplearon, son los factores limitantes para la distribución de las especies: hidrología, topografía, clima, precipitación, temperatura, uso de suelo y vegetación (cuadro 4).

Finalmente para evaluar la superficie de distribución potencial de las cuatro especies en estudio los mapas finales (Grids) fueron configurados a coordenadas UTM (metros) mediante la extensión de ArcView versión 3.2 ArcView Projection Utility Wizard, subsiguientemente el mapa shape (polígono) ya configurado en metros se convirtió nuevamente a formato gris (celdas) especificándosele un tamaño de celda de 1000 x 1000 metros para al final poder hacer el cálculo de la superficie en km<sup>2</sup>.

### **5.3 Áreas prioritarias para la conservación**

La identificación de áreas prioritarias para la conservación de las especies (animales y vegetales), en los últimos años se ha estado convirtiendo en un esfuerzo importante por parte de los Biólogos de la Conservación, considerándose a las regiones alta riqueza de especies y de endemismos las prioritarias (Ceballos, Rodríguez y Medellín, 1998).

Entre los criterios mas utilizados para considerar la creación de un área natural protegida se encuentran por una parte la extensión o tamaño del área; en las áreas pequeñas y fragmentadas, la viabilidad de las poblaciones desciende, por lo tanto es preferible seleccionar áreas continuas y de tamaño considerable para favorecer la conservación de poblaciones viables (Primack *et al* 2001).

En general se acepta que las reservas grandes son más apropiadas para mantener muchas especies debido al mayor tamaño de las poblaciones y mayor variedad de hábitats. Existen áreas que aunque pequeñas, pueden incluir gran variedad de tipos de hábitat y más poblaciones de especies amenazadas, que una reserva grande localizada en la misma región. Algunas áreas son importantes porque ocupan sitios estratégicos, actuando como

corredores biológicos que permiten el flujo de genes así como la dispersión de individuos y colonización de nuevos sitios, sin embargo, en algunos casos dichos corredores también pueden tener efectos negativos como son la propagación de plagas y enfermedades (Primak, *op cit*).

La información del estado de conservación de las especies puede utilizarse para determinar áreas prioritarias a proteger. Mediante este criterio se consideran más importantes los sitios que poseen mayor cantidad de especies en riesgo de extinción. Otro aspecto importante a considerarse para el establecimiento de Áreas Naturales protegidas es la fragilidad, la cual indica el grado de sensibilidad que tienen los hábitats, comunidades o especies a los cambios ambientales o a los impactos ocasionados por el ser humano. Se consideran con alta prioridad a los ecosistemas o especies frágiles, porque son los más propensos a perderse o a ser afectados. Sin embargo, su conservación puede ser difícil y generalmente se requieren muchos recursos (Primak *op cit*).

Además es importante considerar también la riqueza referida al número de especies presentes en cada área. El criterio mas recomendado es conservar prioritariamente las áreas con mayor riqueza de especies, así como la diversidad la cual considera el número de especies y uniformidad en las áreas. Con este criterio se reconoce cuales áreas están dominadas por pocas especies abundantes o bien si la comunidad está formada por muchas especies igualmente frecuentes o con abundancias similares. En la práctica las medidas de diversidad son raramente utilizadas por los conservacionistas para determinar la importancia de las áreas (Ceballos y Navarro, 1991).

La irremplazabilidad considera que si un solo sitio contiene una especie particular, entonces es irremplazable y será de gran importancia para la conservación mientras que habrá otros sitios donde todas sus especies estén presentes también en otros sitios y por lo tanto son mucho mas reemplazables y la presencia de especies raras, endémicas de distribución restringida o amenazadas (Ceballos y Navarro *op cit*).

Para evaluar las áreas de distribución de los *Ambystoma* en Michoacán, los criterios que se emplearon principalmente fueron, extensión, irremplazabilidad, endemismo y estatus de conservación en la NOM-079-SEMARNAT-2001.

El procedimiento a seguir para determinar las áreas propuestas como prioritarias para la conservación de los *Ambystoma* michoacanos fue; una vez obtenidos los mapas de distribución potencial de cada una de las especies se convirtieron a formato gris en el software Arc View 3.2, lo cual permite a través de los valores de presencia hacer la suma de los cuatro mapas (*Ambystoma amblycephalum*, *Ambystoma ordinarium*, *Ambystoma rivulare* y *Ambystoma velasci*) mediante la función map calculator de ArcView versión 3.2, para obtener el modelo final, que nos va a permitir hacer una evaluación mediante el uso de suelo y vegetación, unicidad del área y considerando como mayor riqueza de especies a las zonas donde potencialmente se pueden encontrar las cuatro especies, además de que se tomaron en consideración los distintos decretos de conservación en el Estado para valorar cuales son aquellas áreas de importancia en donde potencialmente se encuentran las especie y no se encuentran dentro de ninguna categoría de conservación.

Debido a que las especies de *Ambystoma*, se encuentran estrechamente relacionadas a cuerpos de agua (ríos, arroyos y lagos) fue necesario hacer un buffer 1000 metros con la cobertura de hidrología ya que de acuerdo a los especialistas es el rango promedio de desplazamiento de los cuerpos de agua de los *Ambystoma*.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Mapas de distribución histórica de las especies.

#### *Ambystoma amblycephalum*

Los registros de distribución histórica de *Ambystoma amblycephalum* está reportada en once localidades para Michoacán, dos en Jalisco, una en Guerrero y una en Guanajuato, sin embargo, dicha distribución estaba incluida en estos cuatro estados, con registros comprendidos entre 1949 y 1966, y respecto a la distribución actual, desde 1966, no existen registros confiables para esta especie (Aguilar-Miguel, 2005).

Esta especie se encuentra en depósitos de agua de poca corriente, en estado larvario y los adultos transformados en las orillas de arroyos bajo troncos secos húmedos. *Ambystoma amblycephalum*, es una especie poco conocida biológicamente, no obstante, las posibilidades de destrucción del hábitat son muy grandes debido a la tala, avance de las fronteras agrícolas, contaminación del agua, por lo que es recomendable hacer estudios más profundos, sobre esta especie (Aguilar-Miguel, *op cit*).

Huacuz (2001), verificó la localidad tipo de esta especie, señalada como 15 km al W de Morelia correspondiente al poblado de Tacícuaro Michoacán y reporta que no existe como hábitat natural, actualmente es un desagüe y basurero del pueblo y los pobladores del lugar aseguran que hace más de 30 años que no han visto ningún ajolote por esos lugares, siendo la deforestación, los desarrollos urbanísticos, la canalización de ríos y arroyos, las descargas de aguas negras domésticas e industriales y los desechos sólidos los que en su momento acabaron con las poblaciones de *Ambystoma amblycephalum* en su localidad tipo. Respecto al resto de las localidades de colecta las reporta como hábitats totalmente modificados las cuales no existen ya como hábitat natural, además de errores taxonómicos de identificación, donde reportan *Ambystoma amblycephalum* y las cuales corresponden a *Ambystoma andersoni* en la Laguna de Zacapu y a *Ambystoma ordinarium* en la localidad registrada como El Salitrillo, 11.5 km al SE de la ciudad de Morelia, lo que supone una distribución actual de la especie más reducida que la histórica.

De acuerdo a los datos obtenidos de las bases de datos se tienen 49 registros de *Ambystoma amblycephalum*, de Michoacán los cuales pertenecen solo a once localidades diferentes, debido a que existen datos de hasta 20 especímenes perteneciente a una sola localidad.

La figura 2 muestra los puntos de las localidades históricas de colecta de *Ambystoma amblycephalum* en el estado de Michoacán en donde se registran colectas del municipio de Morelia, Tacámbaro, Salvador Escalante, Pátzcuaro, Quiroga, Zacapu y Erongarícuaro.

Esta especie se encuentra como sujeta a protección especial (Pr) en la NOM-079-SEMARNAT-2001. En la Lista Roja de la UICN se sitúa en la categoría de críticamente en peligro (CR), debido a que su ocurrencia se encuentra en un área menor a los 100 km<sup>2</sup> y su ocupación es de menos de 10 km<sup>2</sup>, y la calidad del hábitat se encuentra en continuo decremento alrededor de la ciudad de Morelia, donde las mayores amenazas son; la desecación y contaminación de los cuerpos de agua, apertura de caminos, la extensión de la mancha urbana, entre otros. No se encuentra listada en CITES (Convention on International Trade in Endangered Species).

Debido a que no existen datos de registros de organismos en las localidades desde 1966, se recomienda realizar monitoreos intensivos de esta especie, porque es probable que en el estado de Michoacán ya no se localice ya que solo se registra una observación de un ejemplar en el Municipio de Zinacantepec, Estado de México. Además es urgente un plan emergente de conservación, debido a que esta especie no se encuentra en ninguna área natural protegida y es urgente la restauración y conservación del hábitat natural de la especie, así como la crianza en cautiverio para posteriormente reintroducirla en áreas donde aún permanezca.

## *Ambystoma amblycephalum*

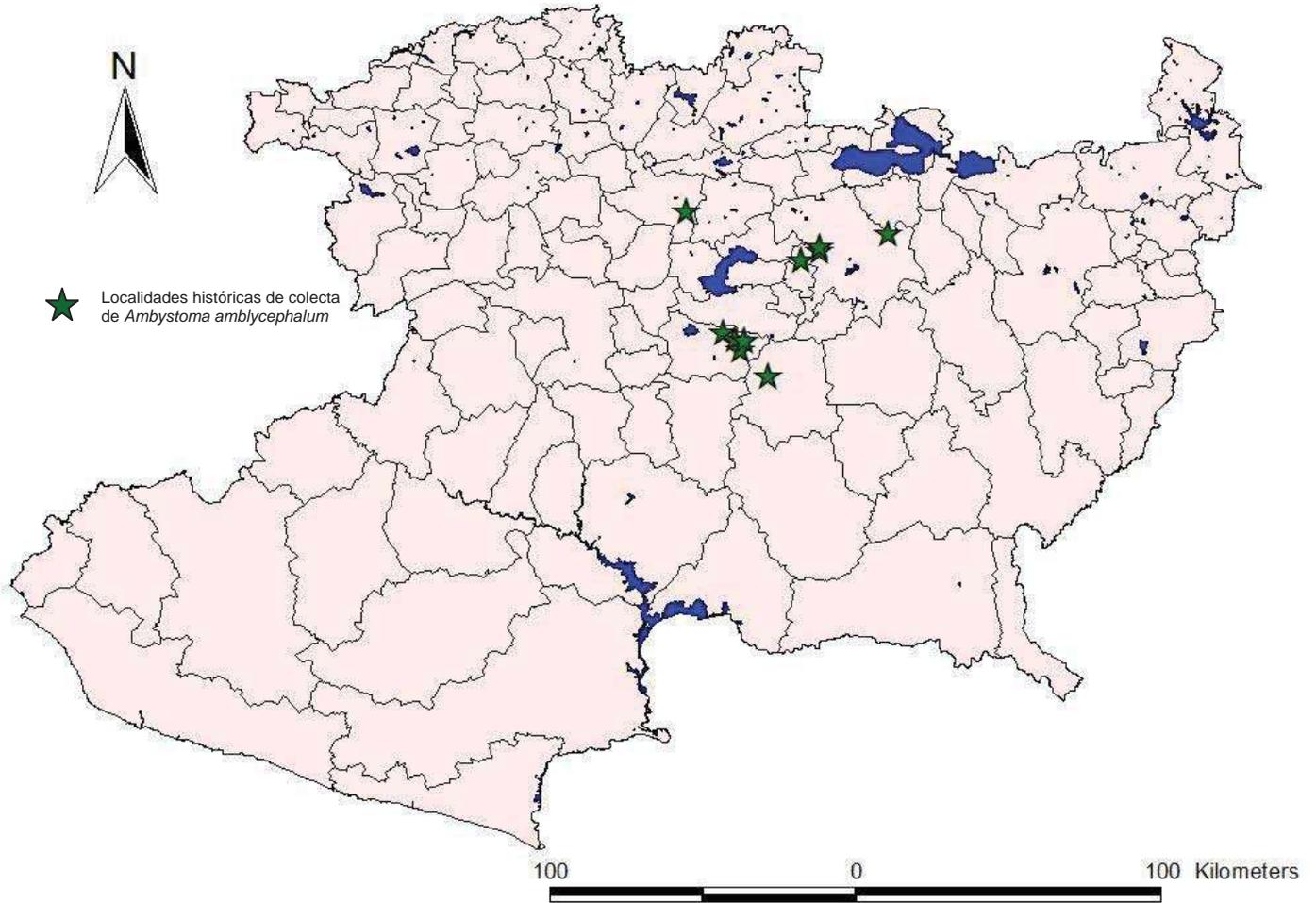


Figura 2. Mapa de distribución histórica de *Ambystoma amblycephalum*.

### ***Ambystoma andersoni***

Esta especie se encuentra restringida a la Laguna de Zacapu (Figura 3) la cual se localiza en el municipio del mismo nombre y forma parte de la cuenca Lerma-Santiago en el Estado de Michoacán, en áreas con vegetación donde se presentan remanentes de bosque pino-encino, rodeado de zona urbana, dentro de la laguna asociación con vegetación acuática (tulares y lirios acuáticos), y particularmente los organismos colectados, están en las áreas donde se presentan los manantiales que abastecen la laguna (Huacuz, 2001).

La situación actual que guarda su hábitat natural respecto a las necesidades de la especie, se reporta que actualmente la laguna de Zacapu es utilizada como balneario, con todo el impacto que esto puede generar. Esta especie presenta un endemismo regional con una sola localidad (la Laguna de Zacapu), siendo por lo tanto endémica de México, además de ser una especie con importancia económica localmente debido a que es comercializada y consumida por los pobladores de la región.

*Ambystoma andersoni* se encuentra en la categoría de sujeta a protección especial (Pr) NOM-079-SEMARNAT-2001 y los principales problemas a los que se enfrenta esta especie en la laguna son: por una parte azolve de ésta debido a la deforestación y arrastre de suelo, descarga de aguas residuales e industriales a la laguna, descargas de aguas negras domésticas y desechos sólidos por parte de los habitantes de la ciudad, y por otra parte dentro de la laguna la competencia trófica, la depredación, captura y comercialización. Esta especie se encuentra en la Lista Roja de la UICN en la categoría de críticamente en peligro (CR), debido a que su ocurrencia se encuentra en un área menor a los 100 km<sup>2</sup> y su ocupación es de menos de 10 km<sup>2</sup>, y todos sus individuos perteneces a una sola población, y la calidad del hábitat se encuentra en continuo decremento en la Laguna de Zacapu. No se encuentra listada en CITES (Convention on International Trade in Endangered Species). La presión por parte de las poblaciones humanas hacia esta especie es muy alta debido a que está siendo alcanzada por el crecimiento urbano de la Ciudad de Zacapu.

*Ambystoma andersoni*

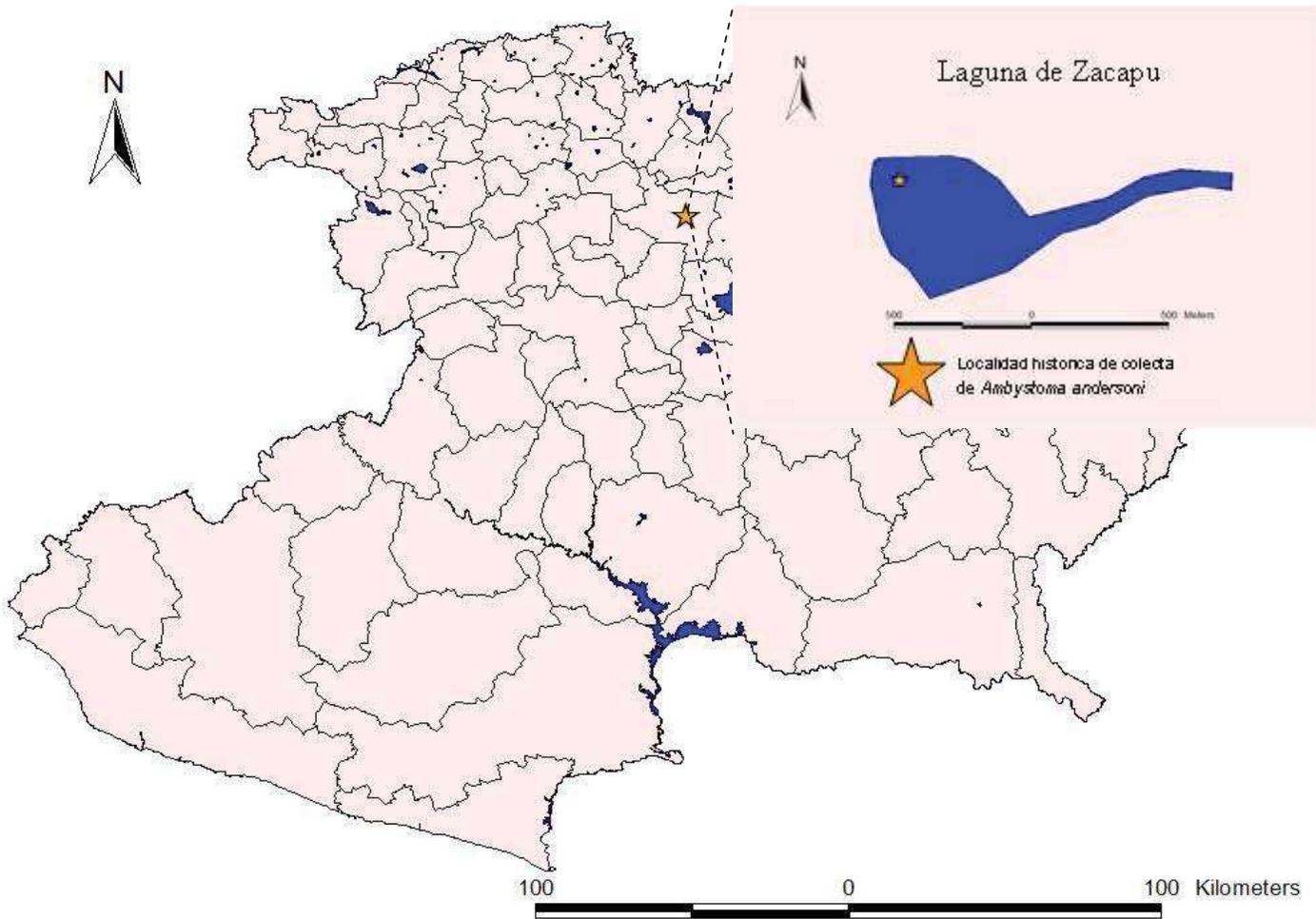


Figura 3. Mapa de distribución de *Ambystoma andersoni*.

El grado de contaminación del hábitat de ésta especie es alarmante debido al establecimiento de esta localidad de colecta en un balneario; además en el sitio existe una unión de pescadores que conjuntamente con la explotación pesquera hay extracción de ajolotes para su venta semanal en el mercado local y de acuerdo con estudios realizados la explotación puede ser un problema grave si no se establece un manejo adecuado de la especie.

A pesar de que esta especie se encuentra en la Región Hidrológica Prioritaria Zacapu por ser una región de alta biodiversidad, es necesario un plan emergente de conservación para *Ambystoma andersoni* y su hábitat. Esta especie puede ser reproducida en laboratorio y posteriormente poder reintroducir individuos al hábitat natural. Son necesarios estudios que evalúen la sustentabilidad de la pesca así como el impacto que causa en sus poblaciones la introducción de especies exóticas.

### ***Ambystoma dumerilii***

*Ambystoma dumerilii* al igual que *Ambystoma andersoni* es microendémica para una sola localidad, el lago de Pátzcuaro (Figura 4). Este es un lago tropical de alta montaña localizado en la región sur del Sistema Volcánico Transversal. La captura desmesurada, la introducción de especies de peces alóctonas, enfermedades y parásitos y la creciente contaminación del lago han sido los principales problemas a los que se ha enfrentado la especie en su hábitat natural y debido a que utilizan toda la columna de agua del Lago de Pátzcuaro son considerados epibentónicos (Huacuz, 2002).

*Ambystoma dumerilii*, es una especie comercializada tradicionalmente en la región, se tiene registros de capturas de 1987 a 1999 con una captura total de 27,161 kg en este período. (Ortega, 2003), registra que se sigue comercializando la especie en el mercado de Pátzcuaro, aunque en menor cantidad lo cual indica que la especie esta presente en el lago. La percepción generalizada de los diferentes actores sociales (pescadores, comerciantes y consumidores de los mismos), es que en los últimos seis años la especie se ha visto drásticamente disminuida.

*Ambystoma dumerilii*

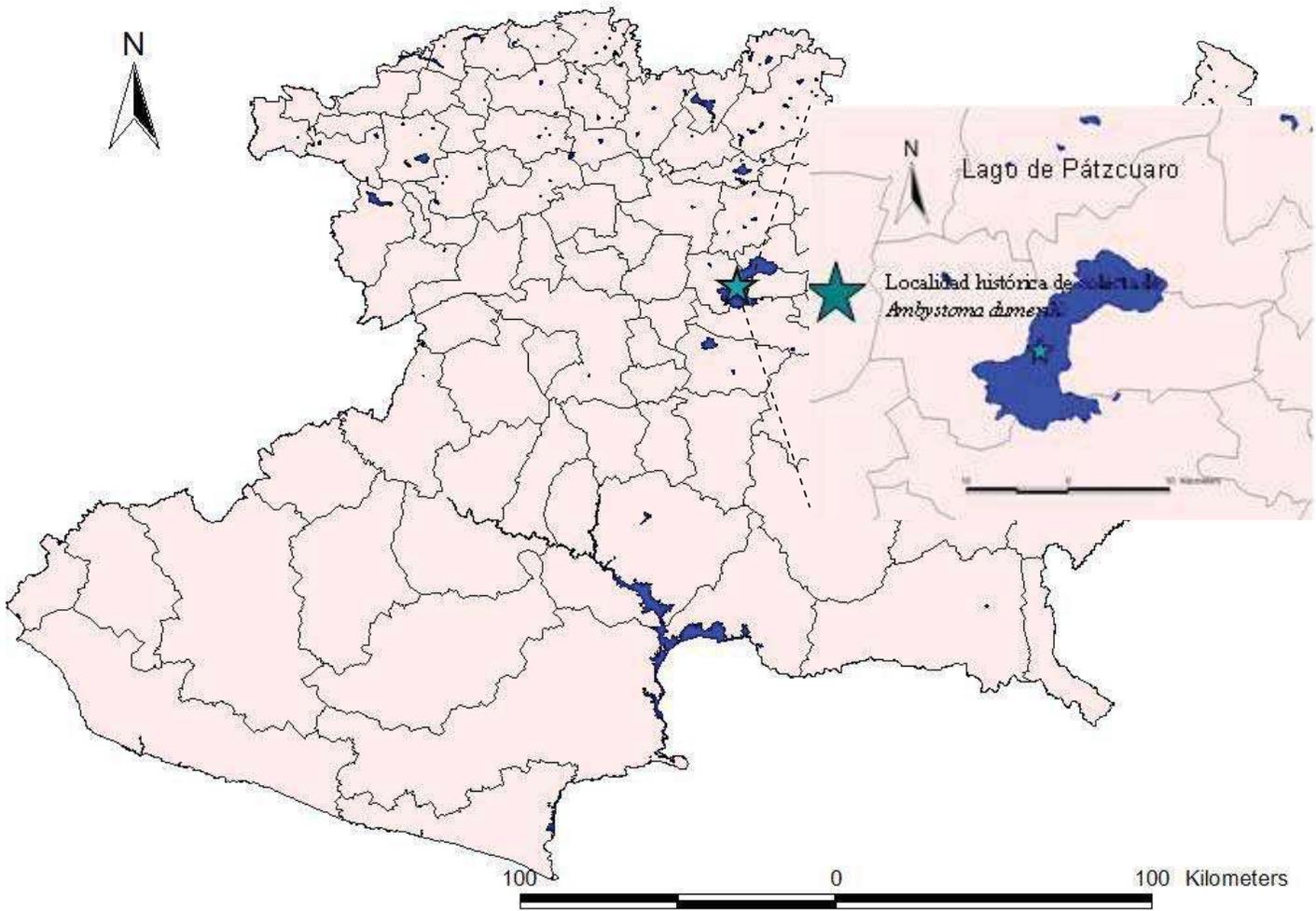


Figura 4. Mapa de distribución de *Ambystoma dumerilii*

Esta es una especie muy importante debido a que presenta un endemismo regional con solo una localidad, en el Lago de Pátzcuaro, siendo por lo tanto endémica de México. El achoque es un recurso muy apreciado tradicionalmente por los purépechas como alimento nutritivo, además de ser utilizado con fines terapéuticos en afecciones respiratorias (tos crónica, asma, bronquitis y gripe principalmente), sin embargo actualmente existe productos elaborados a base de achoque como son jarabes, pomadas y shampoos entre otros, siendo el jarabe de achoque el mas conocido (Ortega, 2003).

*Ambystoma dumerilii*, se encuentra incluida en la NOM-079-SEMARNAT-2001 en la categoría (Pr), sujeta a protección especial. Esta especie es la que presenta mayores problemas en el lago debido al azolve producto de la deforestación y arrastre de suelo, descarga de aguas residuales e industriales al lago, descargas de aguas domésticas y desechos sólidos por parte de los habitantes de la ciudad, desarrollos urbanísticos, competencia trófica, la depredación y una desmedida captura y comercialización.

En la Lista Roja esta especie se encuentra en la categoría de críticamente en peligro (CR), debido a que su ocurrencia se encuentra en un área menor a los 100 km<sup>2</sup> y su ocupación es de menos de 10 km<sup>2</sup>, y todos sus individuos perteneces a una sola población, y la calidad del hábitat se encuentra en continuo decremento en el Lago de Pátzcuaro. Se encuentra listada en el apéndice II de CITES (Convention on International Trade in Endangered Species).

Esta especie se localiza en la Región Hidrológica Prioritaria Pátzcuaro y cuencas endorreicas cercanas decretada desde 1998 por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) en el Programa de Regiones Hidrológicas Prioritarias con el objetivo de obtener un diagnóstico del área para establecer un marco de referencia que pueda ser considerado por los diferentes sectores para el desarrollo de proyectos de Investigación (Arriaga *et al*, 2002).

*Ambystoma dumerilii* ha sido reproducida en cautiverio en México, Estados Unidos y otras partes del mundo, y la alternativa es poder reintroducir individuos al medio natural, sin

embargo mientras las condiciones ambientales del Lago de Pátzcuaro no lo permitan, esa alternativa será infructuosa.

Huacuz (2002) reporta que lo que se pesca de *Ambystoma dumerilii* en el Lago de Pátzcuaro es mucho mayor de lo que se produce y eso los ha llevado a una disminución considerable de la población, así como el daño que les causa la introducción de especies exóticas a través de parásitos, enfermedades y destrucción del hábitat.

### ***Ambystoma ordinarium***

La distribución de *Ambystoma ordinarium* es conocida solo en localidades mayores o cercanas a los 2200 msnm en el Sistema Volcánico Transversal (Huacuz, 2001). Son organismos característicos de arroyos y manantiales de montaña, dentro de Bosques de Oyamel, Pino y Encino-Pino (García, 2003).

La distribución histórica de *Ambystoma ordinarium* en el estado de Michoacán se registra para los municipios de Morelia, Pátzcuaro, Indaparapeo, Quiroga, Tacámbaro, Salvador Escalante, Tzitzio, Zinapécuaro, Hidalgo y Zitácuaro (figura 5).

La distribución actual de esta especie, posiblemente está reducida a la parte sur y sureste de la localidad tipo en el Estado de Michoacán. (Huacuz, 2001) verificó algunas localidades; de las más cercanas a la ciudad de Pátzcuaro no encontró organismos básicamente debido a la modificación del hábitat. En las localidades de Puerto Garnica y San José de la Cumbre si reporta organismos. Además reporta nuevas localidades de colecta en Los Filtros Viejos y San Miguel del Monte pertenecientes a la cuenca del Río Chiquito de Morelia Michoacán, así como en un arroyo afluente de la presa Pucuat y en el Río Queréndaro el cual reporta como un arroyo de poca profundidad y anchura el cual recibe los desechos orgánicos del rastro municipal por lo que lo registra como una localidad altamente perturbada.

*Ambystoma ordinarium*

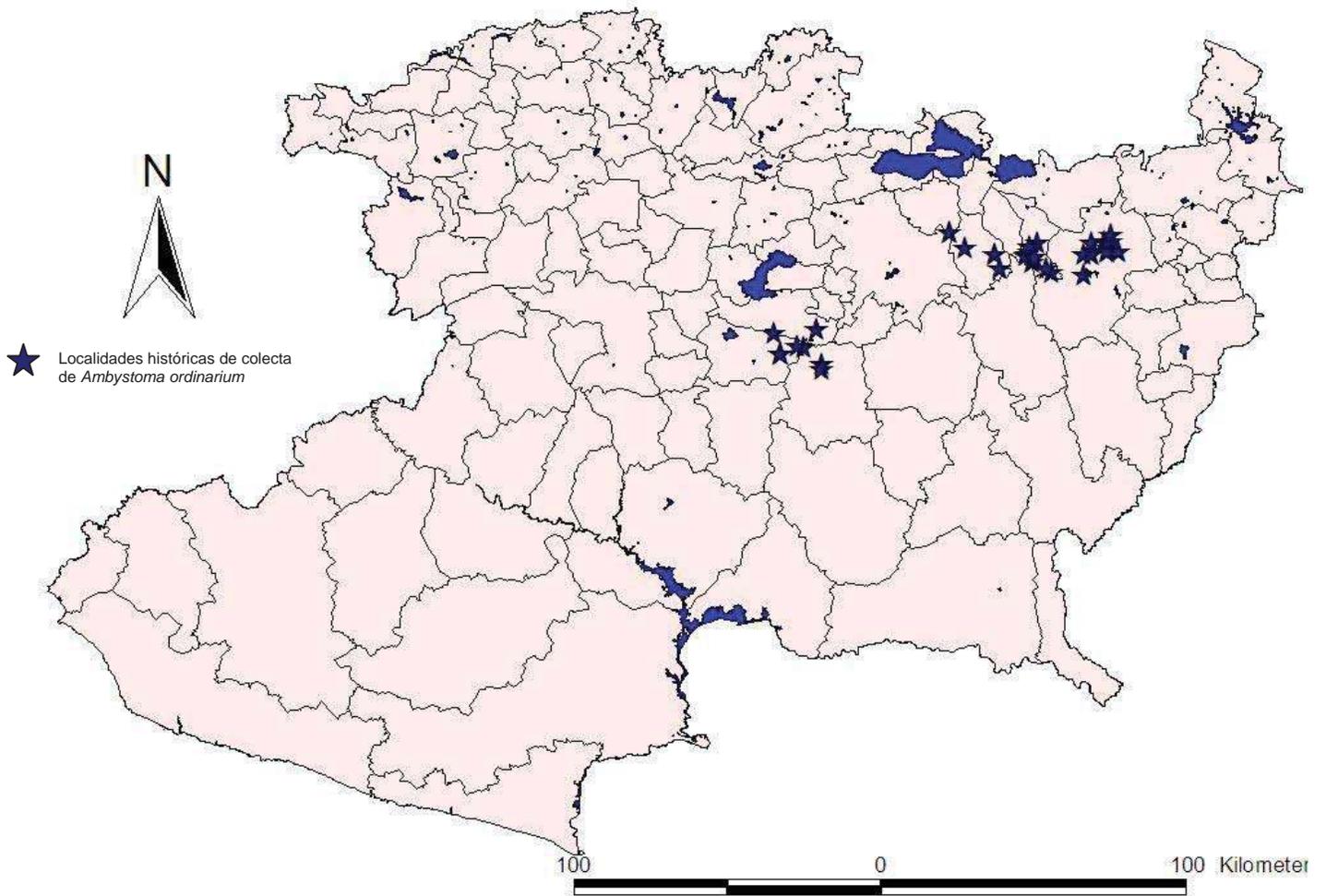


Figura 5. Mapa de distribución histórica de *Ambystoma ordinarium*.

De acuerdo con Huacuz (2001), los factores que están disminuyendo las poblaciones de esta especie son principalmente la deforestación, los desarrollos urbanísticos, la canalización de ríos y arroyos, las descargas de aguas negras domésticas y los desechos sólidos, entubamiento de arroyos con fines de uso humano, entre otros. Por otra parte Aguilar-Miguel (2005), cita que el impacto humano hacia las poblaciones de esta especie es bajo en un buen número de localidades, no obstante existen algunas que han sido fuertemente impactadas principalmente por asentamientos humanos, cambio de uso del suelo, contaminación y realización de obras de infraestructura, por lo que el impacto se podría considerar como medio.

En la NOM-079-SEMARNAT-2001 esta especie se encuentra en la categoría de Sujeta a Protección Especial (Pr) en donde sitúan a aquellas especies de poblaciones reducidas y distribución geográfica restringida o para propiciar su recuperación y conservación o la conservación de especies asociadas.

En la Lista Roja de la UICN se encuentra en la categoría de Rara (R), en donde se sitúan a aquellas especies cuyas poblaciones son biológicamente viables, pero escasas de manera natural, pudiendo estar restringida a un área de distribución o a hábitats muy específicos. No se encuentra listada en CITES (Convention on International Trade in Endangered Species).

El impacto humano hacia las poblaciones de esta especie es bajo en algunas localidades, no obstante existen algunas que han sido fuertemente impactadas principalmente por asentamientos humanos, cambio de uso del suelo, contaminación y realización de obras de infraestructura, por lo que el impacto se podría considerar como medio.

### ***Ambystoma rivulare***

Taylor (1940), reporta que es posible encontrar *Ambystoma rivulare* en el estado de Michoacán en áreas adyacentes a la localidad tipo, la cual se cita como “cerca de 13 km al oeste de Villa Victoria, Estado de México, en una pequeña laguna de bosque de pino”. Esta localidad se encuentra a 10 km al Este del los límites del estado de Michoacán con el Estado de México

La distribución histórica de esta especie corresponde a las localidades del Estado de México como El Nevado de Toluca, y en el Estado de Michoacán en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, en los santuarios Chivati-huacal, Sierra Chincua y El Rosario, siendo endémica restringida en su distribución a esta área del Sistema Volcánico Transversal.

Los registros existentes para el estado de Michoacán son los de Huacuz (2004), en la Reserva de la Mariposa Monarca. Las colectas las realizó en un arroyo de montaña permanente, parte de una cañada a 3225 msnm y finaliza en el Llano de las Papa a 3211 msnm (figura 6). En el Estado de México se tienen registros de esta especie en los municipios de San Felipe del Progreso, Donato Guerra y Viola de Allende.

En la NOM-079-SEMARNAT-2001 esta especie se encuentra en la categoría de Amenazada (A), es decir podría llegar a encontrarse en peligro de extinción si siguen operando factores que ocasionen el deterioro o modificación del hábitat o que disminuyan sus poblaciones, aunque de acuerdo con Huacuz 2001, los factores aparentes que están disminuyendo las poblaciones de esta especie son: la deforestación, las descargas de aguas negras domésticas y los desechos sólidos principalmente y cita que los parámetros promedio de calidad del agua obtenido en su estudio se encuentran dentro de los intervalos óptimos de sobrevivencia de la especie, pero no obstante debe tenerse en cuenta la posibilidad de que esto cambie de continuar la tendencia a la disminución del área de distribución (Huacuz, 2004), además cabe mencionar que el monitoreo de la población se efectuó dentro de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, en donde el deterioro del hábitat no es tan acelerado como en zonas donde la presión antropogénica es mucho mayor las cuales no se encuentran en ninguna categoría de conservación . No se encuentra listada en CITES (Convention on International Trade in Endangered Species).

*Ambystoma rivulare*

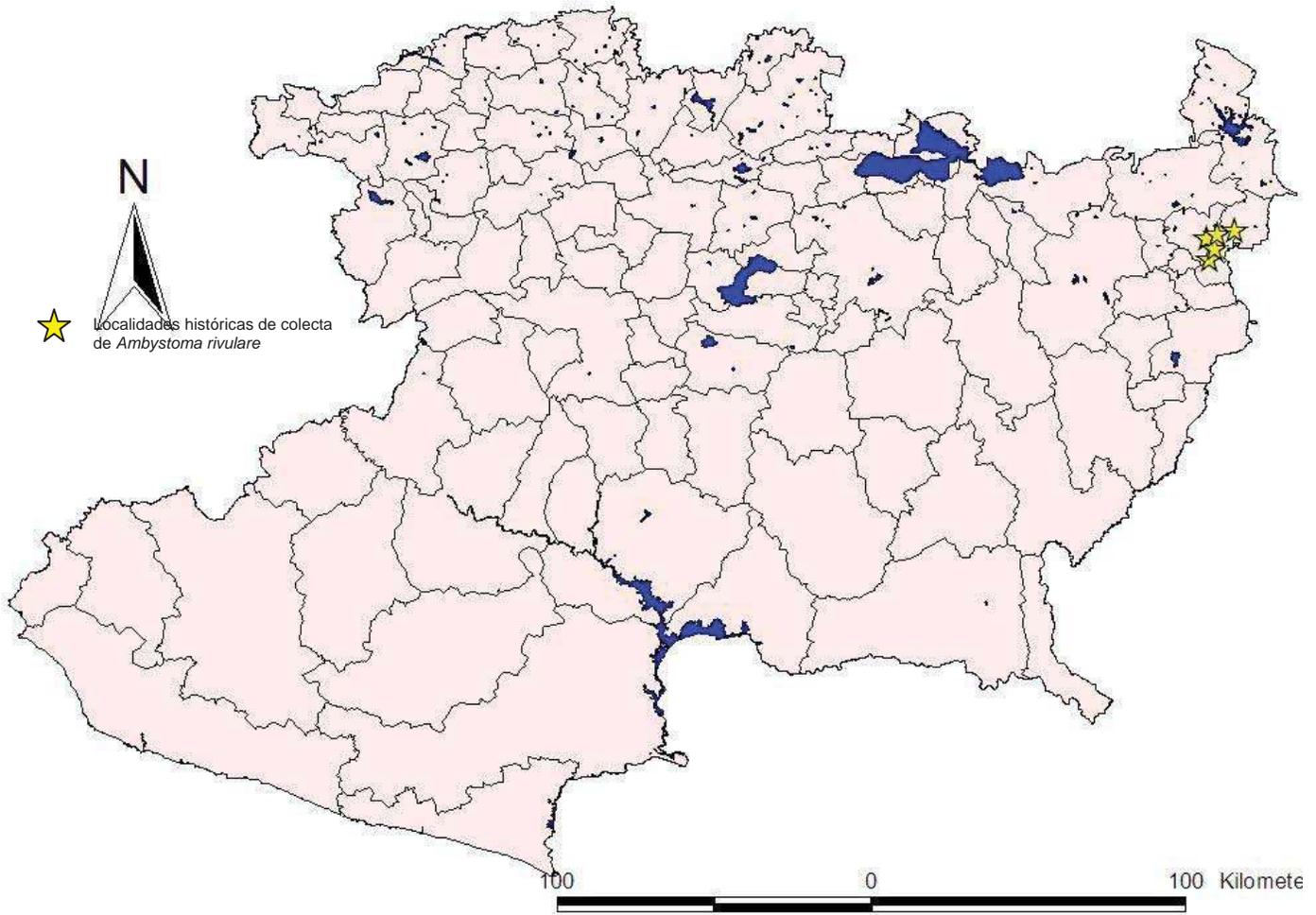


Figura 6. Mapa de distribución histórica de *Ambystoma rivulare*.

En la lista Roja de la UICN esta especie se encuentra en la categoría de datos insuficientes (DD) debido a que se tienen problemas taxonómicos, rangos de distribución bien establecidos y requerimientos ecológicos en vida silvestre, excepto en la Reserva de la Mariposa Monarca donde se tiene bien estudiada una población que se encuentra en condiciones estables.

De los registros de colecta existentes en Áreas Naturales Protegidas para *Ambystoma rivulare* se registran en el Parque Nacional del Nevado de Toluca en el Estado de México, sin embargo a esta área le falta una protección efectiva para la especie y la población de la Reserva Especial de la Mariposa Monarca que es considerada estable, sin embargo en general es necesario implementar medidas de conservación de hábitats mas seguros y disminuir la contaminación de los cuerpos de agua.

### ***Ambystoma velasci***

La distribución histórica estimada para *Ambystoma velasci* en México, tiene una área de distribución geográfica amplia, ocupando entre el 15 y el 40% del territorio nacional. Se encuentra desde el centro de México sobre el Sistema Volcánico Transversal, hacia el norte por el Altiplano Mexicano y parcialmente las Sierras Madre Oriental y Occidental (Aguilar-Miguel, 2005).

La distribución actual de esta especie con poblaciones aún presentes en nuestro país se registra para los Estados de Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Durango, Nuevo León, Zacatecas, Chihuahua, San Luís Potosí, Michoacán, Estado de México, Querétaro y Veracruz. Cabe mencionar que a pesar de que se obtuvieron 36 registros de colecta correspondientes al estado de Michoacán de *Ambystoma velasci* en la base de datos de la CONABIO, solo corresponden a seis localidades diferentes (figura 7).

Los registros de las localidades de colecta corresponden a los municipios de Morelia, Pátzcuaro, Salvador Escalante y Coeneo.

*Ambystoma velasci*

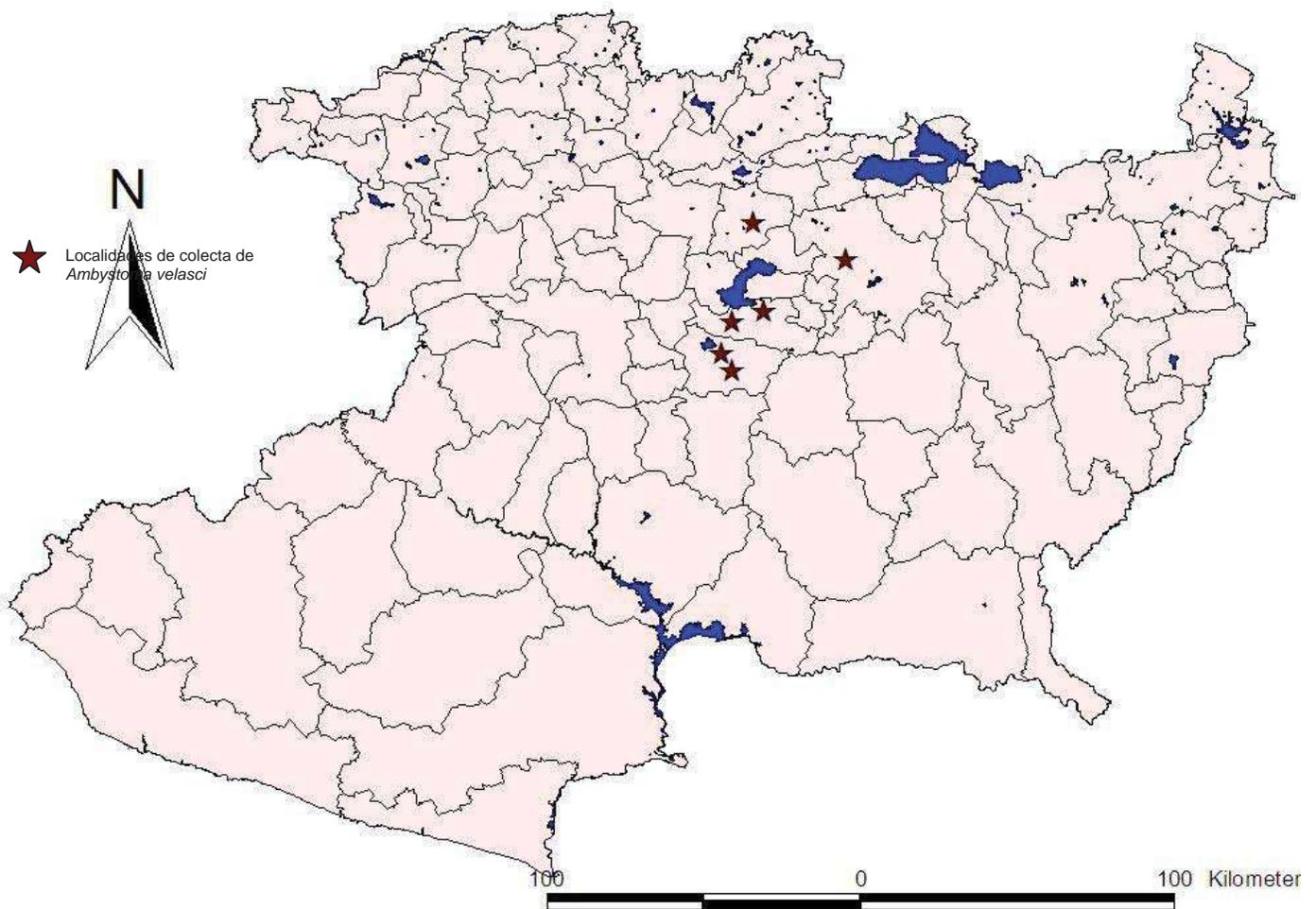


Figura 7. Mapa de distribución histórica de *Ambystoma velasci* en Michoacán.

Esta especie habita en lagos volcánicos, charcas temporales y permanentes, cuerpos de agua artificiales, arroyos y ríos. Es una especie transformada que se localiza en bosques por arriba de los 1800 msnm, sin embargo se ha documentado que es posible encontrar adultos no transformados. Gran parte del hábitat de esta especie se encuentra en lugares áridos, lo cual genera amplia demanda por el uso del agua, ya sea con fines agrícolas o urbanos, o bien, se han desecado total o parcialmente, lo cual ha disminuido el hábitat disponible para la especie, particularmente hacia el centro del país (Aguilar-Miguel, 2005).

En la NOM-079-SEMARNAT-2001, esta especie se encuentra en la categoría (Pr) sujeta a protección especial. No existe un estudio a nivel nacional en donde se establezca en cuantas áreas naturales protegidas se localiza esta especie, pero debido a su amplio rango de distribución en todo el país es probable que muchas de sus poblaciones se encuentren estables, sin embargo Aguilar-Miguel (2005) reporta poblaciones con serios problemas de destrucción de hábitat e introducción de especies de peces exóticas principalmente.

En la lista Roja de la UICN esta especie se encuentra en la categoría de Menos Preocupante (LC) en vista de su amplia distribución, donde se presume que existen grandes poblaciones y parece ser poco probable que la especie pueda tener problemas de declinación como para colocarla en una categoría de mayor amenaza.

A pesar de la probabilidad existente de que esta especie se localice en algunas áreas naturales protegidas debido a su amplio rango de distribución es necesario incrementar esfuerzos de conservación del hábitat de la especie. En el estado de Michoacán es necesario identificar las poblaciones aún existentes en la actualidad y evaluar su estado de conservación debido a que cuando Huacuz (2001) realizó su estudio solo encontró individuos en la localidad de Las Garzas y es probable que cinco años después las condiciones de los hábitats se hayan modificado considerablemente.

## 6.2 Análisis de la distribución potencial

Los modelos generados muestran que las especies de *Ambystoma* presentes en Michoacán, tienen requerimientos específicos como son tipo de clima, tipo de vegetación, humedad y precipitación y por estar tan estrechamente ligados a cuerpos de agua y por lo tanto sus patrones ecológicos y biogeográficos pueden ser predecibles. GARP busca correlaciones azarosas entre la presencia y ausencia de la especie y los valores de los parámetros ambientales utilizando diferentes tipos de reglas y cada regla consiste en un criterio, para el caso específico de los *Ambystoma* la principal regla a considerar es la presencia de cuerpos de agua, es por eso que se generó un buffer de los mapas de hidrología y cuerpos de agua de 1000 metros.

El modelo de distribución potencial generado con GARP para *Ambystoma amblycephalum*, muestra un rango de distribución potencial amplio en el Sistema Volcánico Transversal (figura 8). En coloración más oscura se muestran las zonas en donde existe mayor probabilidad de presencia y en coloración mas clara las zonas donde hay menor probabilidad de que potencialmente sea localizada la especie. La superficie total del estado de Michoacán es de 58667 Km<sup>2</sup>, (Atlas Geográfico del Estado de Michoacán, 2003) y de acuerdo al cuadro 5 *Ambystoma amblycephalum* potencialmente se distribuye en 8483 Km<sup>2</sup> correspondiente al 14.5% del total del territorio estatal.

La tabla 5 muestra el rango de valores obtenidos en los mapas generados de distribución potencial GARP de *Ambystoma amblycephalum* considerando que la superficie total del estado de Michoacán y en la tercera columna se muestra el porcentaje proporcional al total del territorio del estado. En el cuadro 5 se aprecia que solo en un 9.1 % de la superficie total del Estado es mas probable que se pueda encontrar a la especie, sin embargo considerando todos los valores dados potencialmente la especie se puede encontrar en un 14.5 % del territorio estatal. No obstante es necesario hacer trabajo de campo para cotejar que en realidad en las zonas que muestran mayor probabilidad de estar presente la especie en realidad lo estén, y de ser así hacer un estudio poblacional para conocer las condiciones de las mismas.

*Ambystoma amblycephalum*

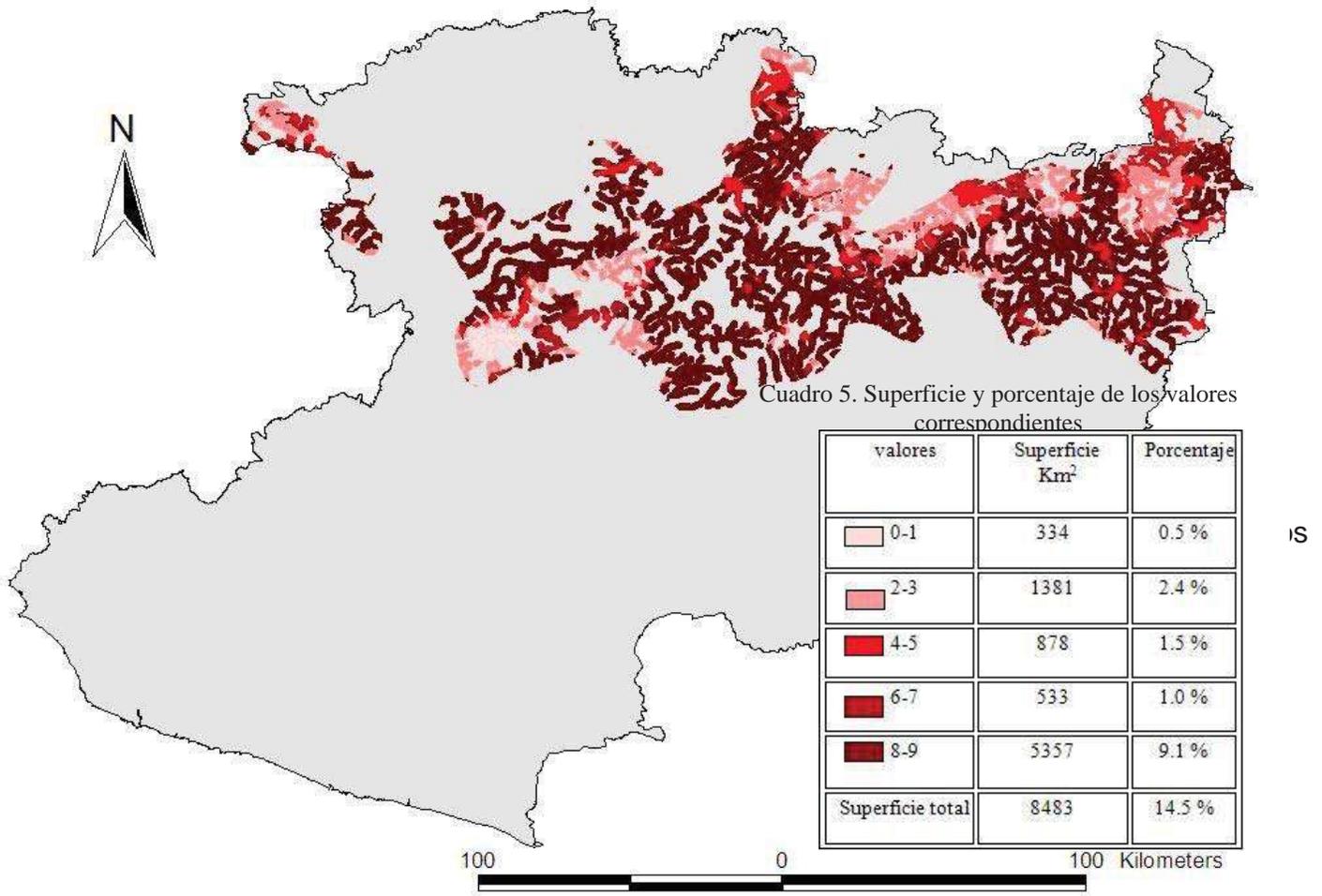


Figura 8. Mapa de distribución potencial de *Ambystoma amblycephalum*.

La segunda especie analizada es *Ambystoma ordinarium* la cual presenta una distribución muy similar a *Ambystoma amblycephalum*, sin embargo, respecto a la probabilidad de presencia de esta especie la figura 9 muestra que potencialmente existen altas probabilidades de que tenga una distribución mas uniforme en el Sistema Volcánico Transversal, principalmente en los municipios de Morelia, Quiroga, Zacapu, Querendaro, Hidalgo y Pátzcuaro.

La cuadro 6 muestra la superficie potencial de distribución para *Ambystoma ordinarium*, en la primer columna se muestran los rangos de valores dados por el modelo final en donde los colores mas claros muestran menor probabilidad de encontrar la especie y en los tonos mas oscuros es mayor la probabilidad. En caso particular de esta especie se aprecia que es la especie que potencialmente puedes estar presente en mayor superficie del estado en relación a las otras tres especies en estudio cubriendo una superficie total de 8713 Km<sup>2</sup> correspondiente al 14.9 % de la superficie total.

La tercer especie en estudio es *Ambystoma rivulare* la cual delimita aún más su distribución a zonas de mayor altitud localizándose en cuerpos de agua lóticos en altitudes superiores a los 2800msnm en bosques de oyamel, bosques de pino y pino-encino (figura 10); mientras que *Ambystoma amblycephalum* y *Ambystoma ordinarium* presenta un rango de distribución altitudinal más amplia registrándose las especies en altitudes arriba de los 1800 msnm. También sobresale que la distribución de esta especie parece estar delimitada por el clima, vegetación y temperatura los cuales actúan como barrera biogeográfica para la distribución de esta especie. Sin embargo, los modelos del resto de las especies también muestran que la distribución se encuentra condicionada a los gradientes ambientales.

De las cuatro especies en estudio *Ambystoma rivulare* es la especie que presenta un menor rango de distribución potencial limitándose prácticamente a la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca en los municipios de Contepec, Senguio, Zitácuaro, Ocampo y Áporo el estado de Michoacán y potencialmente el las partes mas altas de los municipios de Quiroga, Morelia, Hidalgo, Zinapécuaro, Maravatío, y Angangueo.

*Ambystoma ordinarium*

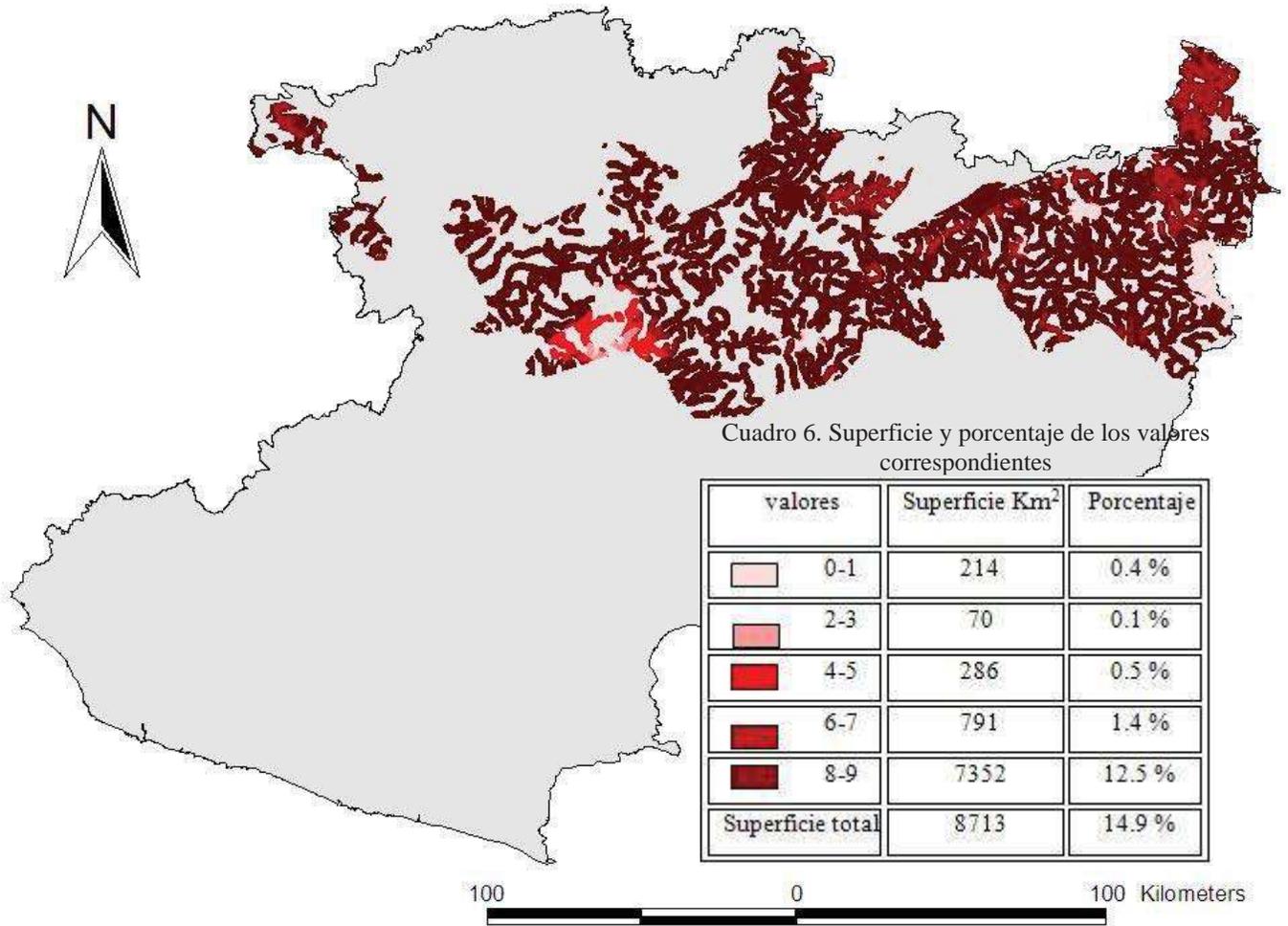


Figura 9. Mapa de distribución potencial de *Ambystoma ordinarium*.

*Ambystoma rivulare*

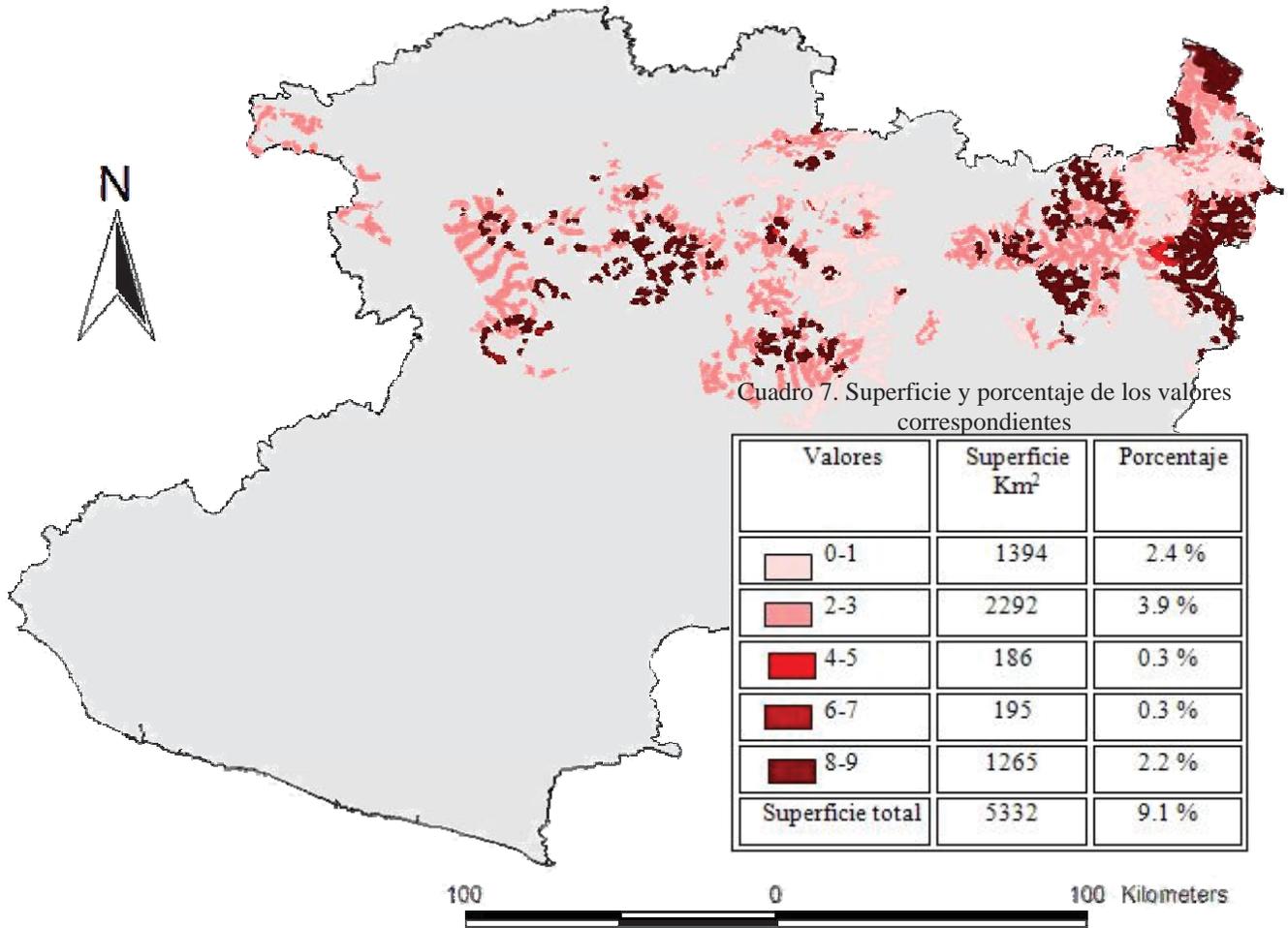


Figura 10. Mapa de distribución potencial de *Ambystoma rivulare*.

El cuadro 7 muestra la superficie potencial de distribución para *Ambystoma rivulare*, siendo esta la especie que presenta menor superficie de distribución potencial en relación a las otras tres especies en estudio cubriendo una superficie total de 5332 Km<sup>2</sup> correspondiente al 9.1 % de la superficie total, pero en este caso es importante mencionar que los valores dados de menor probabilidad de presencia son mayores que los valores de probabilidad mayor correspondiéndole solo el 2.2 de la superficie total, siendo los dos primeros rangos (0-1 y 2-3) los que cubren el 6.3 % de la superficie, sin embargo al igual que las demás especies es importante cotejar los sitios de distribución, dado a que en esta especie son menores el esfuerzo requerido será menor.

La cuarta especie en estudio es *Ambystoma velasci* (figura 11). Esta especie presenta una distribución mas uniforme que *Ambystoma rivulare* pero con menor superficie que *Ambystoma ordinarium* y *Ambystoma amblycephalum*, esto debido que las localidades de colecta utilizadas en el modelado de distribución potencial están muy cerca, y sea por eso que el modelo se haya visto sesgado de alguna forma para que los mapas muestren una distribución potencial muy parecida para las cuatro especies.

Las especies *Ambystoma amblycephalum*, *Ambystoma ordinarium* y *Ambystoma velasci* presentan una distribución muy similares, sin embargo, a pesar de que *Ambystoma velasci* parece tener una distribución potencial de 7784 km<sup>2</sup> correspondientes al 13.3 % del territorio del estado (cuadro 8). Huacuz registra que no se encuentra en ninguna de las localidades reportadas históricamente, pero registra una nueva localidad reportada como Las Garzas municipio de Morelia Mich. La figura 11 muestra que hacia el oriente del estado esta especie puede estar presente potencialmente en los municipios de Hidalgo, Maravatío, Zátacuario, y Ocampo; en la parte centro del estado en Morelia, Tzintzuntzan, Huaniqueo, Puruandiro y Coeneo siendo Pátzcuaro, Ario de Rosales y Salvador Escalante la porción más sur y una pequeña porción de Los Reyes y Uruapan.

A pesar de que los modelos de predicción no señalan una separación geográfica marcada de la distribución potencial entre las cuatro especies, de acuerdo a los registros consultados, no se cita ninguna localidad en la cual se encuentre mas de una especie; sin embargo Huacuz

(2001), cita un traslape de especie lo que atribuye a problemas de identificación taxonómica histórica y por tanto una confusión en las localidades donde probablemente se esté registrando una especie que en realidad corresponde a otra, además cita que en el caso de *Ambystoma amblycephalum* las características de los organismos revisados corresponden a *Ambystoma ordinarium*.

Es necesario mucho trabajo previo para revisar todos los especímenes de las colecciones científicas y cotejar que realmente corresponda a la especie que se reporta, en el presente trabajo no se realizó el cotejo de las especies. Por otra parte otro factor a considerar es la falta de registros recientes de colecta de las especies en las colecciones científicas debido a que las más recientes datan de 1986, es decir de hace veinte años.

Potencialmente el género *Ambystoma* puede estar presente con mayor o menor probabilidad en los municipios de Pátzcuaro, Tingambato, Erongarícuaro, Tzintzuntzan, Lagunillas, Tinguindín, Los Reyes, Carapan, Tangancícuaro, Chilchota, Cherán, Paracho, Purepero, Nahuatzen, Zacapu, Jiménez, Coeneo, Tlazazalca, Huaniqueo, Morelos, Puruandiro, Morelia, Villa Madero, Tacámbaro, Acuitzio, Tangamandapio, Querendaro, Ario de Rosales, Salvador Escalante, Tacámbaro, Indaparapeo, Ciudad Hidalgo, Maravatío, Tuxpan, Zitácuaro, Ocampo, Contepec, Epitacio Huerta, Senguio, Copándaro, Chucándiro, Irimbo, Aporo, Tlalpujahuá, Angangué y Jungapeo. Lo que cabe mencionar es que en muchos municipios puede estar presente el género potencialmente solo en las partes más altas.

*Ambystoma velasci*

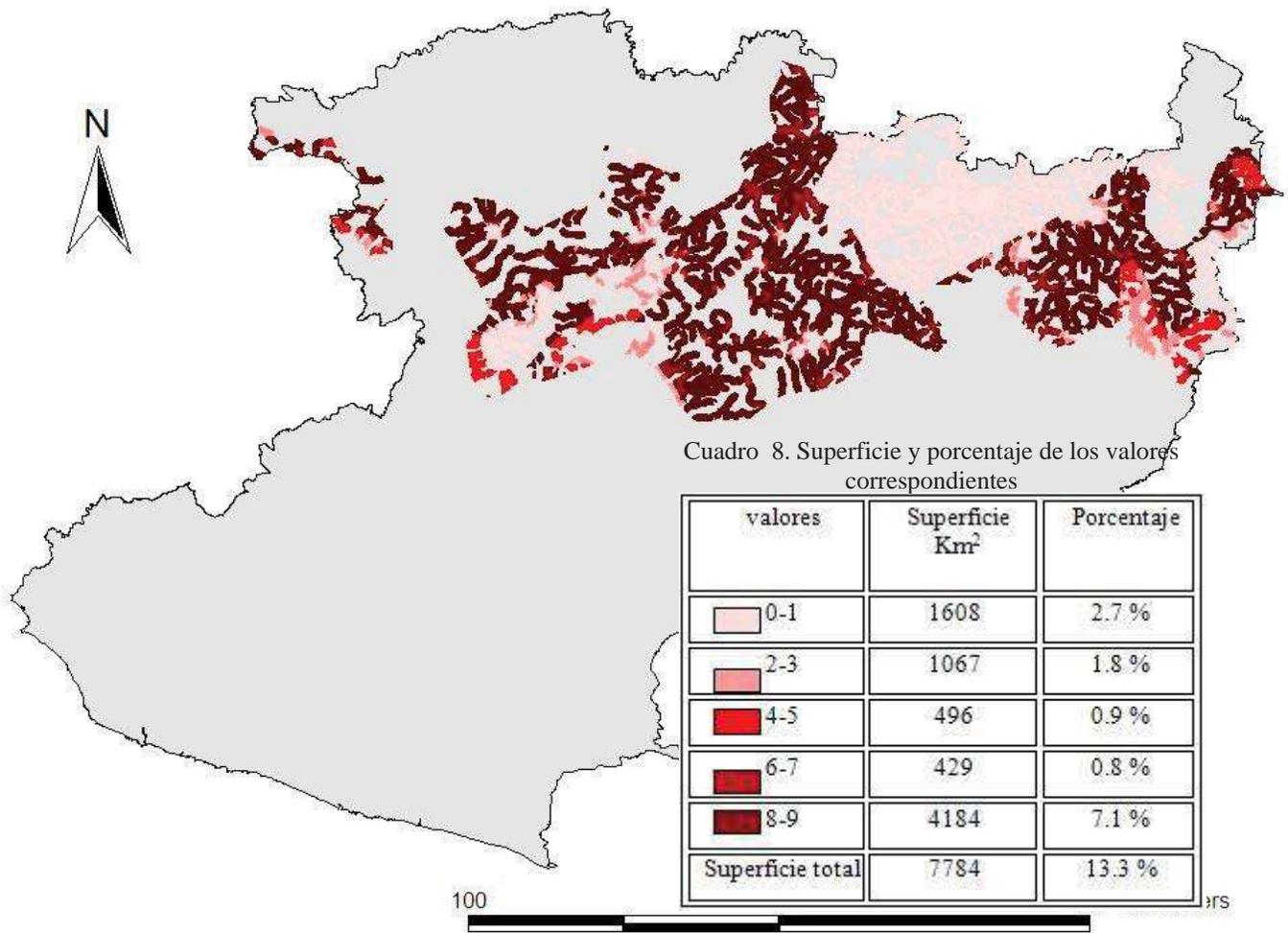


Figura 11. Mapa de distribución potencial de *Ambystoma velasci*.

### **6.3 Problemática de los *Ambystoma* michoacanos.**

En general la presión por parte de las poblaciones humanas hacia los ambystomátidos es muy alta, ya que se estima que la mayoría de las poblaciones han sido alcanzadas por el crecimiento urbano destruyéndose una parte importante de su hábitat natural, debido a que el agua de los arroyos en que habitan ha sido tomada y entubada para consumo humano o bien, contaminados por drenajes urbanos y desechos sólidos con la consecuente contaminación y destrucción del ambiente. A estos factores se suman otros relacionados con aspectos socio-económicos como avance de la frontera agrícola y ganadera, las formas irracionales de explotación agropecuaria y forestal; la introducción no ponderada de especies exóticas; las prácticas cinegéticas irresponsables; el tráfico ilegal; el desarrollo no regulado de infraestructura de servicios; programas de conservación y manejo ineficientes; falta de coordinación inter e intra-institucional; y ausencia de continuidad y difusión en el conocimiento integral de los recursos.

### **6.4 Propuesta de las Áreas prioritarias para la Conservación del Género *Ambystoma* en el Estado de Michoacán.**

Debido a la diversidad de especies, a la complejidad de ecosistemas y a lo limitados que son los recursos económicos destinados con fines de conservación existentes en los países de gran biodiversidad como México, es necesario plantear criterios y prioridades para la conservación implementando estrategias a nivel regional (Galindo-Leal, 2002), donde el sistema para evaluar las prioridades de conservación debe tener en cuenta aspectos ecológicos, filogenéticos e históricos en riesgo de extinción de las especies presentes y la estructura legal para la conservación de los taxa amenazados.

A pesar de que la mayoría de las áreas protegidas del estado de Michoacán se han establecido en zonas de importancia forestal donde los tipos de vegetación mejor representados son los bosques de encino, pino, oyamel y sus diversas asociaciones en el Sistema Volcánico Transversal, es necesario establecer áreas prioritarias específicas para la

conservación del género *Ambystoma* debido a que tienen requerimientos muy específicos en cuanto a la calidad del ambiente.

Para establecer las Áreas prioritarias para la Conservación del Género *Ambystoma* en el estado mas importantes debe seguirse una serie de criterios establecidos por la UICN en donde se deben considerar aspectos ecológicos, filogenéticos e históricos de la especie en estudio. Entre los criterios mas utilizados es la Extensión o tamaño del área donde se sugiere que sean áreas continuas y de tamaño considerable para favorecer la conservación de poblaciones viables; la ubicación ya que existen áreas que aunque pequeñas, pueden incluir gran variedad de tipos de hábitat y mas poblaciones de especies raras, que una reserva grande localizada en la misma región (Primak *et al.*, 2001). Otro aspecto muy importante a considerar es conocer el estado de conservación de las especies la cual se utiliza para determinar áreas prioritarias a proteger, siendo este el principal criterio a considerarse en el presente trabajo.

La fragilidad de los hábitats y de las especies a los cambios ambientales o a los impactos ocasionados por el ser humano es uno de los aspectos mas importantes a tomarse en cuenta debido a que se consideran con alta prioridad a los ecosistemas o especies frágiles, porque son los mas propensos a perderse o a ser afectados ya que los hábitats no modificados son muy valiosos porque en ellos persisten elementos y procesos difícilmente encontrados en zonas perturbadas. En nuestro país existen zonas que debido a su inaccesibilidad mantienen un grado de conservación muy importante donde se deben considerar prioritarios a los tipos de hábitat menos alterados por actividades humanas.

La diversidad considera el número de especies y uniformidad en las áreas. Con este criterio se reconoce cuales áreas están dominadas por pocas especies abundantes o bien si la comunidad está formada por muchas especies igualmente frecuentes o con abundancias similares. Aunque para este criterio en la mayoría de los casos se utiliza el criterio de riqueza el cual se refiere al número de especies presentes en cada área y es el criterio mas recomendado para conservar prioritariamente las áreas con mayor riqueza de especies (Ceballos, 1999).

La irremplazabilidad es un criterio donde se establece que si un solo sitio contiene una especie particular, entonces es irremplazable y será de gran importancia para la conservación así como la presencia de especies raras, endémicas o de distribución restringida o amenazadas (Ceballos y Navarro, 1991).

Para definir las áreas más importantes para la conservación del género *Ambystoma* se utilizó el criterio de extensión, irremplazabilidad, endemismo y estado de conservación de las especies en estudio. El procedimiento a seguir para determinar las áreas prioritarias para la conservación de los *Ambystoma* michoacanos fue; una vez obtenidos los mapas de distribución potencial de cada una de las especies se convirtieron a formato gris en el software Arc View 3.2, lo cual permitió a través de los valores de presencia hacer la evaluación de los cuatro mapas (figura 8, *Ambystoma amblycephalum*; figura 9, *Ambystoma ordinarium*; figura 10, *Ambystoma rivulare*; figura 11, *Ambystoma velasci*) mediante la función map calculator de ArcView versión 3.2, lo cual dio como resultado un mapa final (Figura 12).

Para tomar un punto de referencia para el establecimiento de las áreas prioritarias para la conservación se revisaron los decretos de los distintas categorías de Áreas Naturales Protegidas del estado de Michoacán en la provincia fisiográfica “Sistema Volcánico Transversal” (Anexo III y IV), es posible observar que las categorías en donde hay mas superficie protegida es en las áreas de protección de recursos naturales para la protección de cuencas hidrográficas que alimentan sistemas de irrigación las cuales no cuentan con una situación clara desde su definición.

Para definir los polígonos de las áreas propuestas para la conservación del género *Ambystoma* en el estado, se obtuvieron los polígonos de las áreas naturales protegidas de carácter federal (Parques Nacionales y la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca) y estatal (Zonas sujetas a conservación ecológica y Parques urbanos ecológicos y prototipo), y se sobrepusieron al mapa final (Figura 12), para hacer una evaluación mediante los distintos decretos de conservación y poder valorar cuales son aquellas áreas de importancia en donde potencialmente se encuentra presente el género y no está dentro de ninguna categoría de conservación. Además de tomar en consideración el establecimiento de las ANP's, se usó el

mapa de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 1998), para identificar las zonas mejor conservadas tomando en cuenta el tipo de vegetación en donde originalmente se localizan las especies en estudio.

En la figura 12 las tonalidades mas claras es donde potencialmente se puede encontrar solo una especie y en las tonalidades más fuertes potencialmente se pueden encontrar las cuatro especies, tomando este criterio como riqueza de especies, aún cuando no se tengan registros de más de una especie es una misma localidad sino solo problemas de identificación taxonómica. No obstante para este trabajo se consideró de esa forma debido a que entre más especies se encuentren potencialmente es esas localidades es mas probable que se encuentre al menos una en la zona.

### Número de especies potencialmente presentes

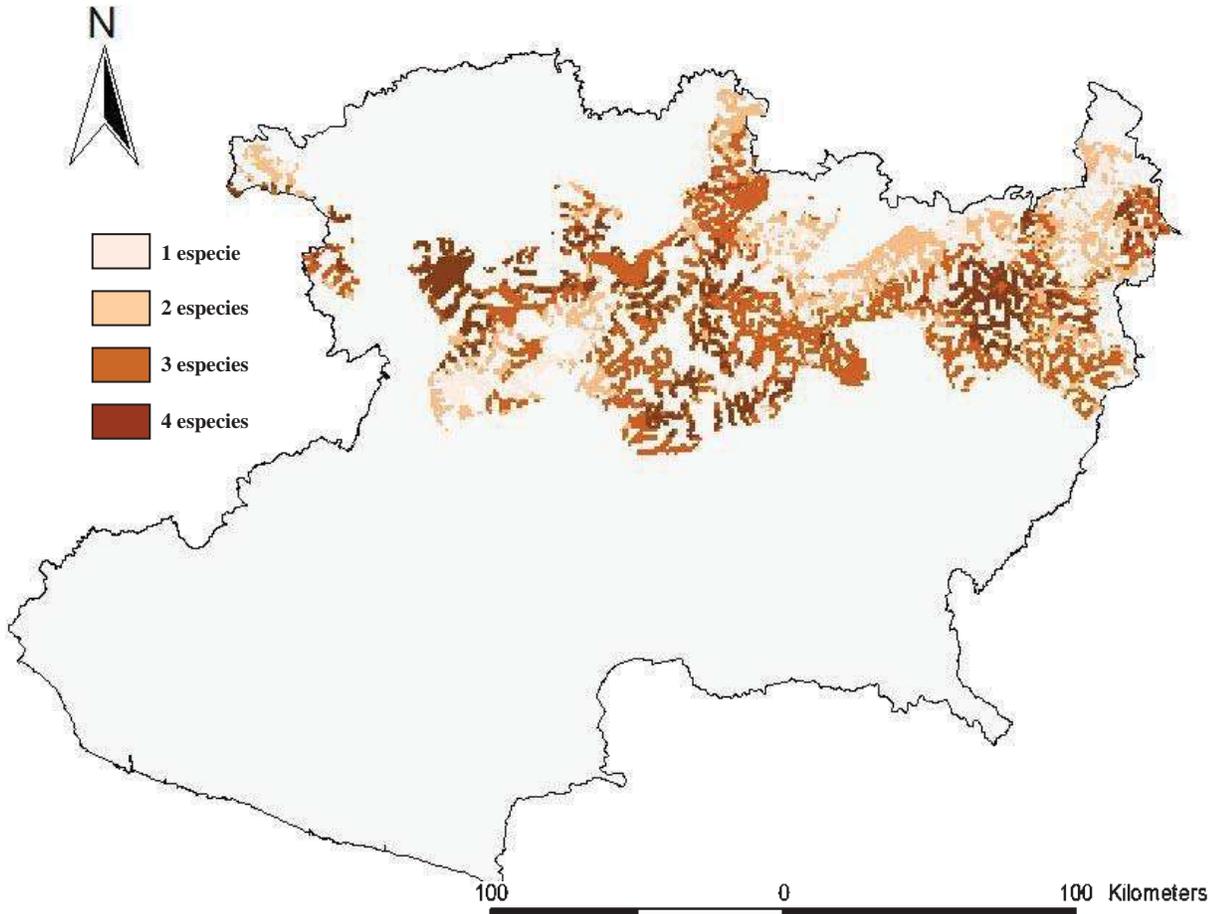


Figura 12. Mapa final de los cuatro mapas de distribución potencial de los *Ambystoma* Michoacanos.

Con la obtención del mapa final (figura 12) es posible observar que potencialmente las cuatro especies de *Ambystoma* se distribuyen en la misma provincia fisiográfica del estado, esto debido a los requerimientos ambientales de las especies, a las características morfofisiológicas que les limita el trasladarse a grandes distancias y a que requieren de condiciones totalmente acuáticas para su reproducción, sin embargo no existe ningún registro que permita observar que existe más de una especie en una misma localidad, solo problemas de identificación taxonómica en los registros de las mismas.

Después del análisis realizado para identificar las áreas prioritarias para la conservación de los ambystomátidos michoacanos fue posible identificar 5 zonas (figura 13). La primera se localiza al Norte del municipio de Los Reyes en bosque de pino, en la porción que colinda con el sur de Tangancícuaro con una superficie potencial de 113.917 km<sup>2</sup>; la segunda se sitúa al Suroeste del mpio. de Zacapu en la parte más elevada del mismo con una superficie potencial de 96.89 km<sup>2</sup>; la tercera área propuesta se localiza al Noreste de Huaniqueo, Noroeste de Chucándiro y Suroeste de Morelos, con una superficie potencial de 72.55 km<sup>2</sup> siendo ésta el área más al norte del estado de Michoacán en donde colinda con el estado de Guanajuato. La cuarta área propuesta se localiza al Noreste del municipio de Madero en bosque de pino-encino con una superficie potencial de 41.83 km<sup>2</sup> siendo esta el área más pequeña debido a la falta de uniformidad en el bosque; la quinta área propuesta se localiza en el centro oeste de Hidalgo, esta es el área de mayor superficie, (129.66 km<sup>2</sup>) además de que corresponde a bosque de pino, pino-encino y bosque de oyamel, aún cuando en la figura 13 se observa una porción mayor para establecer el polígono no fue posible establecerlo debido a que se encuentran zonas de agricultura de riego y pastizales.

Propuesta de áreas prioritarias para la conservación de los  
*Ambystoma* michoacanos

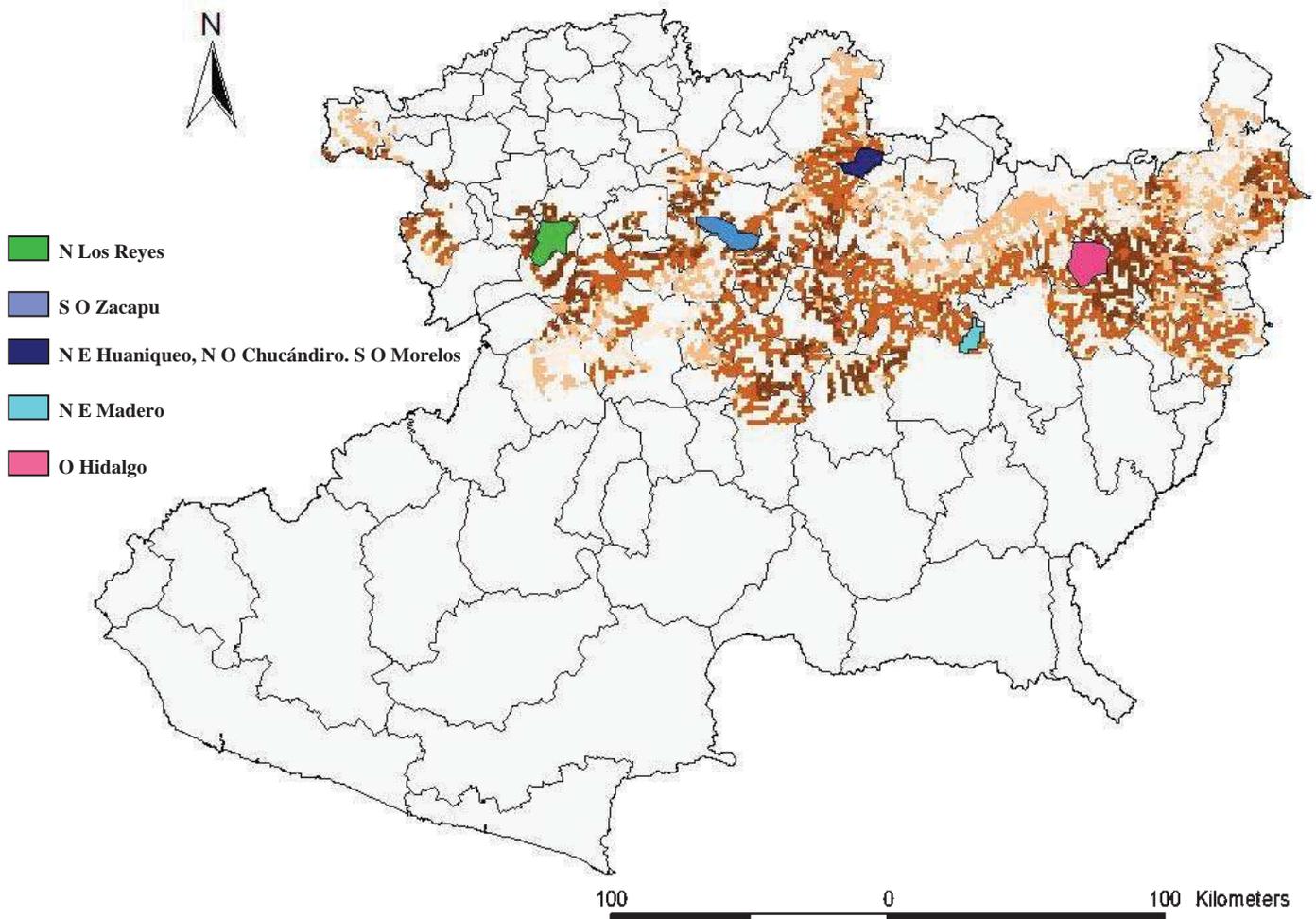


Figura 13. Propuesta de las áreas prioritarias para la conservación de *Ambystoma*.

Cabe mencionar que la selección de las áreas propuestas como prioritarias para la conservación fue considerando los polígono de las áreas naturales protegidas federales y estatales. El área cinco denominada al centro oeste de Hidalgo colinda con el parque nacional “Cerro Garnica” ubicada entre los municipios de Hidalgo y Queréndaro con una superficie de 968 has. En este parque hay registros de *Ambystoma ordinarium*, lo que hace suponer que en esta área se esta protegiendo la especie. Por otra parte aún cuando la distribución potencial de *Ambystoma rivulare* es la mas reducida de las especies en estudio, se sugiere que dado a que esta especie se encuentra en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, está siendo protegida, aún cuando en la figura 15 se observa que es en realidad muy poco probable que se localice en las áreas propuestas para la conservación del género en este trabajo.

La figura 14 muestra como *Ambystoma amblycephalum*, *Ambystoma ordinarium* y *Ambystoma velasci* potencialmente se pueden encontrar en las áreas propuestas para su conservación, y aún cuando no se tenga la certeza de cual o cuales especies se están protegiendo con éstas áreas, de acuerdo con los resultados del análisis GARP la probabilidad de que mas de una especie se vaya a proteger es muy alta.

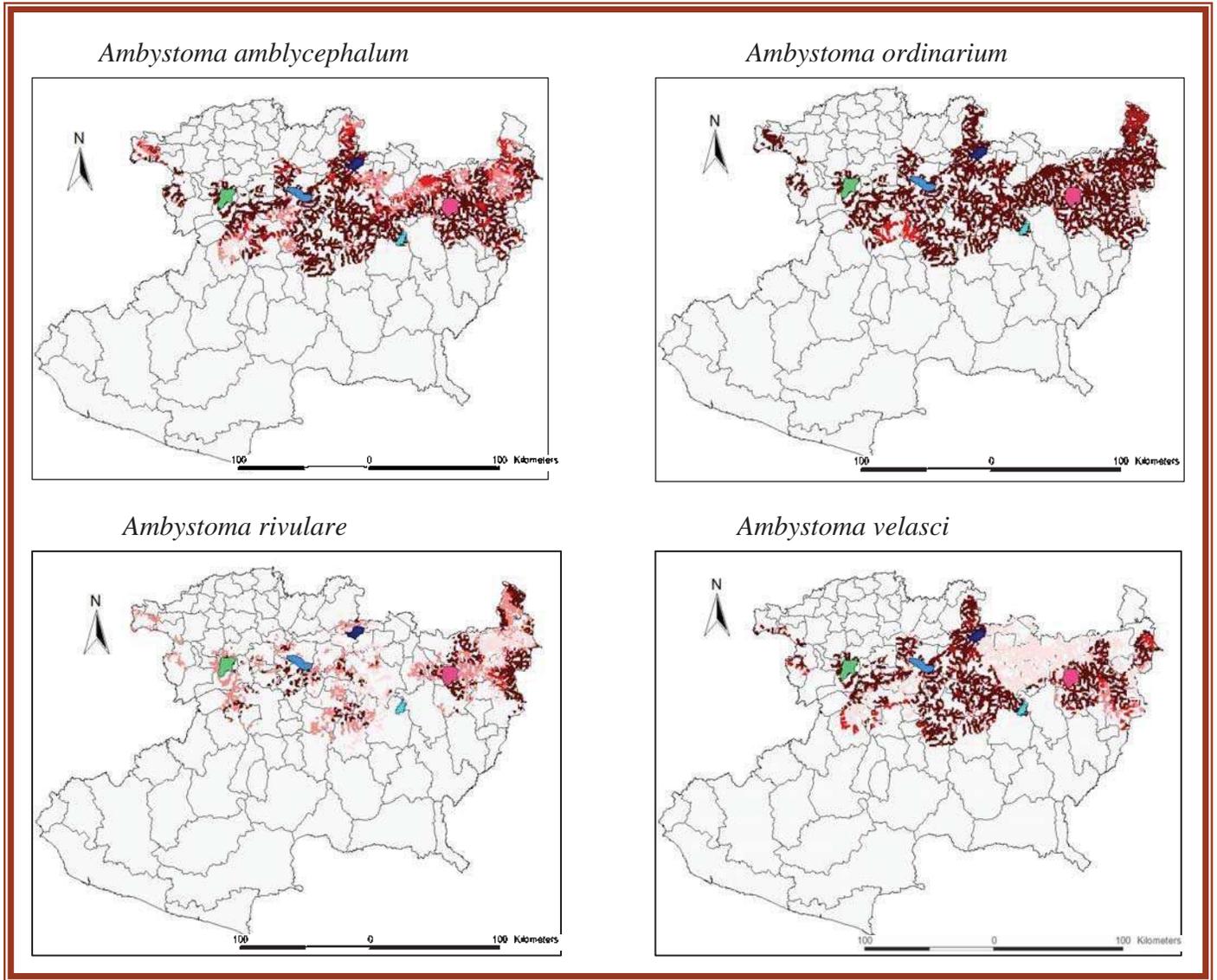


Figura 14. Propuesta de áreas prioritarias para la conservación por especie

## 7. CONCLUSIONES

Los registros históricos de *Ambystoma amblycephalum* en el estado de Michoacán se localizan en los municipios de Morelia, Tacámbaro, Salvador Escalante, Pátzcuaro, Quiroga, Zacapu y Erongarícuaro. Esta es una especie poco conocida biológicamente, no obstante, las posibilidades de destrucción del hábitat son muy grandes debido a la tala, avance de las fronteras agrícolas, contaminación del agua, por lo que es recomendable hacer estudios poblacionales de esta especie

Para *Ambystoma andersoni* se encuentra restringida a la Laguna de Zacapu perteneciente al municipio del mismo nombre y forma parte de la cuenca Lerma-Santiago en el Estado de Michoacán.

*Ambystoma dumerilii* al igual que *Ambystoma andersoni* es microendémica para una sola localidad. Esta especie se encuentra en el lago de Pátzcuaro; un lago tropical de alta montaña localizado en la región sur del Sistema Volcánico Transversal.

La distribución de *Ambystoma ordinarium* en el estado se registra para los municipios de Morelia, Pátzcuaro, Quiroga, Tacámbaro, Salvador Escalante, Tzitzio, Zinapécuaro y principalmente en Ciudad Hidalgo.

La distribución histórica de *Ambystoma rivulare* corresponde a las localidades del Estado de México como El Nevado de Toluca, y en el Estado de Michoacán en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, en los santuarios Chivati-huacal, Sierra Chincua y El Rosario, siendo endémica restringida en su distribución a esta área del Sistema Volcánico Transversal.

La distribución histórica estimada para *Ambystoma velasci* en México, tiene una área de distribución geográfica amplia, ocupando entre el 15 y el 40% del territorio nacional. En Michoacán está registrada para los municipios de Morelia, Pátzcuaro, Salvador Escalante y Coeneo.

En el análisis de distribución potencial “GARP” para *Ambystoma amblycephalum* se obtuvo que solo en un 9.1 % de la superficie total del Estado existe mayor probabilidad de que se pueda encontrar a la especie, sin embargo considerando todos los valores dados, potencialmente la especie se puede encontrar en un 14.5 % del territorio de Michoacán.

*Ambystoma ordinarium* es la especie que potencialmente puedes estar presente en mayor superficie del estado en relación a las otras tres especies analizadas cubriendo una superficie total de 8713 Km<sup>2</sup> correspondiente al 14.9 % de la superficie del estado, mostrando una distribución mas uniforme a través del Sistema Volcánico Transversal.

*Ambystoma rivulare*, es la especie que presenta menor superficie de distribución potencial en relación a las otras tres especies en estudio cubriendo una superficie total de 5332 Km<sup>2</sup> correspondiente al 9.1 % de la superficie total.

Potencialmente *Ambystoma velasci* puede estar presente en el 13.3 % del territorio estatal correspondiente a 7784 Km<sup>2</sup> en los municipios de Hidalgo, Maravatío, Zitácuaro, y Ocampo; en la parte centro del estado en Morelia, Tzintzuntzan, Huaniqueo, Puruándiro y Coeneo siendo Pátzcuaro, Ario de Rosales y Salvador Escalante la porción mas sur y una pequeña porción de Los Reyes y Uruapan.

Es necesario mucho trabajo previo para revisar todos los especímenes de las colecciones científicas y cotejar que realmente corresponda a la especie que se reporta, en el presente trabajo no se realizó el cotejo de las especies. Por otra parte otro factor a considerar es la falta de registros recientes de colecta de las especies en las colecciones científicas debido a que las mas recientes datan de 1986, es decir de hace veinte años.

Potencialmente el género *Ambystoma* puede estar presente con mayor o menor probabilidad en los municipios de Pátzcuaro, Tingambato, Erongarícuaro, Tzintzuntzan, Lagunillas, Tinguindín, Los Reyes, Carapan, Tangancícuaro, Chilchota, Cherán, Paracho, Purepero, Nahuatzen, Zacapu, Jiménez, Coeneo, Tlazazalca, Huaniqueo, Morelos, Puruandiro, Morelia, Villa Madero, Tacámbaro, Acuitzio, Tangamandapio, Querendaro, Ario de Rosales, Salvador

Escalante, Tacámbaro, Indaparapeo, Ciudad Hidalgo, Maravatío, Tuxpan, Zitácuaro, Ocampo, Contepec, Epitacio Huerta, Senguio, Copándaro, Chucándiro, Irimbo, Aporo, Tlalpujahuá, Angangueo y Jungapeo. Lo que cabe mencionar es que en muchos municipios puede estar presente el género potencialmente solo en las partes más altas.

Se identificaron 5 áreas prioritarias para la conservación del género *Ambystoma* en el estado de Michoacán; la primera se localiza al Norte del municipio de Los Reyes con una superficie de 113.917 km<sup>2</sup>; la segunda se sitúa al Suroeste del mpio. de Zacapu con una superficie de 96.89 km<sup>2</sup>; la tercer áreas propuesta se localiza al Noreste de Huaniqueo, Noroeste de Chucándiro y Suroeste de Morelos, con una superficie de 72.55 km<sup>2</sup>; la cuarta área propuesta se localiza al Noreste del municipio de Madero con una superficie de 41.83 km<sup>2</sup>; la quinta área propuesta se localiza en el centro oeste de Hidalgo con una superficie de 129.66 km<sup>2</sup>.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar-Miguel, X. 2005. Algunas especies de anfibios y reptiles contenidos en el Proyecto de la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-059-ECOL-2000. Facultad de Ciencias, Centro de Investigación en Recursos Bióticos, Universidad Autónoma del Estado de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto W035. México. D.F.

Anderson J. D. 1975. *Ambystoma ordinarium*. Catalogue of American Amphibians and Reptiles. 164.1-164.2

Antaramián H., E. y G. Correa P. 2003. Fisiografía. Pp. 172-177. En: SEP-UMSNH 2003. Secretaría de Educación Pública en Michoacán y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Atlas Geográfico del Estado de Michoacán. Segunda Edición. Editora EDDISA, México. 308 pp.

Atlas Geográfico del Estado de Michoacán. 2003. Geografía Física. Segunda edición. Editorial EDDISA S. A. de C. V. Secretaría de Educación Pública en Michoacán y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Bartra, R. 1987. la Jaula de la Melancolía. Editorial Grijalbo, México.

Blaustein A. R., y D. B. Wake, 1995. Declive de las poblaciones de anfibios. Investigación y ciencia. Junio 8-13.

Brandon, R. A., 1989. Natural History of de Axolotl and It's Relationship to others Ambystomatid Salamanders. Took of Developmental Biology of the Axolotl. Chapter 2. Oxford University press. New York Oxford. Pages 13-21.

Briseño C. L. A. 2004. Conservación de los crotalinos en Michoacán: Situación y Áreas prioritarias. Tesis de Maestría. Facultad de Biología. UMSNH.

Casas-Andreu, G y M. X. Aguilar, 1997. La polémica sobre la declinación mundial de poblaciones de anfibios. *Ciencia Ergo Sum Univ. Aut. Edo. Mex.* 4 (1): 97-102.

Ceballos G. 1999. Áreas prioritarias para la conservación de los mamíferos en México. *Biodiversitas. CONABIO.* 38: 9-13

Ceballos, G. y D. Navarro. 1991. Diversity and conservation of Mexican mammals. Pp. 167-198 in: *Latin American Mammalogy: History, Diversity and Conservation* (M. Mares y D. Schmidly eds.). University of Oklahoma Press, Norman, Oklahoma.

Ceballos, G., P. Rodríguez & R. A. Medellín. 1998. Assessing conservation priorities in megadiverse México: Mammalian diversity, endemism, and endangerment. *Ecological Applications* 8 (1): 8-17.

CONABIO. 1998. La Diversidad Biológica de México: Estudio de País. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx),  
<http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto/metadatos.pl>

Daszak, P., L. Berger, A. A. Cunningham, A. D. Hyatt, D. E. Green y R. Speare. 1999. Emerging infectious diseases and amphibians populations declines. *Proc Natl Acad Sci USA.* 5 (6): 735-748.

Duellman W. E. 1961. The amphibians and reptiles of Michoacán México. Natural History museum. University of Kansas. USA. 148 pp.

Flores V, O. Y P. Gerez. 1994. Biodiversidad y Conservación de México: Vertebrados vegetación y uso de suelo. CONABIO. UNAM. México.

Galindo-Leal C. 2002. La ciencia de la conservación de América Latina. *MESOAMERICANA.* 6:3-13. University of Oklahoma Press Norman.

García G. P. 2003. Características de hábitat y atributos demográficos de *Ambystoma ordinarium* Taylor 1940 (Amphibia: Caudata) en Agua Zarca, Municipio de Morelia. Tesis de maestría UMSNH. 66 pp.

Garduño M. V. H. El Relieve. Pp 21-24. En: La Biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado. Villaseñor G., L. E. (editora). 2005. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

González, R. A., 2002. Los anfibios mexicanos y el desprecio que conduce a su extinción. *Especies. Naturalia A.C.* 11(3): 3-7.

Graham. C. H., S. Ferrier, F. Huettman, C. Moritz and T. Peterson. 2004. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology and Evolution.* 19, 497-503.

Huacuz, E. D., 2001. Estado de Conservación del género *Ambystoma* en Michoacán México. UMSNH, UNAM y SEMARNAT. México. 49 pp.

Huacuz, E. D., 2002. Programa de Conservación y Manejo de *Ambystoma dumerilii*, El Achoque del Lago de Pátzcuaro. UMSNH, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A. C. y SEMARNAT. México. 138 pp.

Huacuz, E. D., 2003. Estado de Conservación de *Ambystoma rivulare* Taylor, (1940) en el Santuario Sierra Chincua de la Reserva de Biosfera Mariposa Monarca. *Biológicas* 5. 51-63. Facultad de Biología. UMSNH.

Huacuz, E. D., 2005. Anfibios y Reptiles. pp. 99-100. En: La biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado. Villaseñor G., L. E. (editora). 2005. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

Illoldi, R. P., M. A. Linaje y V. Sánchez-Cordero, 2002. Distribución de los mamíferos terrestres en la Región del Golfo de California México. Serie Zoológica 73(2) 213-224. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Martínez-Meyer E., T. A. Peterson, and G. A. Navarro-Siguenza. 2004. Evolution of seasonal ecological niches in the *Passerina* buntings (Aves: Cardinalidae). The Royal Society . 271, 1151-1157.

NOM-059-SEMARNAT-2001. Norma Oficial Mexicana, Protección Ambiental de especies nativas de México de Flora y Fauna silvestre, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión o cambio en la lista de especies de riesgo. Marzo, 2002.

Ortega C. A. J. 2000. El Ajolote. Revista trimestral Elementos. No. 36, Vol. 6. Noviembre-Enero.

Ortega G. A. M. 2003. Situación actual de *Ambystoma dumerilii* el achoque del Lago de Pátzcuaro Mich. Mex. Tesis de Licenciatura. UMSNH. 68pp.

Pearce J., S. Ferrier, D. Scotts. 2004. An evaluation of the predictive performance of distributional models for flora and fauna in north-east New South Wales. Opt Lett. 1;30(21):2843-5.

Pechmann, J.H.K., and H.M. Wilbur. 1994. Putting declining amphibian populations in perspective: natural fluctuations and human impacts. Herpetologica 50:65-84.

Peterson A. T., G. L. Ball and Cohon P. K. 2002. Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modelling methods. Ibis, 144 (on line), E27-E32

Primack R., Rozzi R., Feinsinger P., Dirzo R. y F. Mazardo. 2001. Fundamentos de Conservación Biológica. Perspectivas Latinoamericanas. Fondo de Cultura Económica. México DF.

Rodríguez, P. 1999. Patrones geográficos de diversidad alfa y beta en los mamíferos de México. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias. UNAM, México, D.F.

Scott, J.M., B. Csuti, J. Jacobi, and J.E. Estes. 1987. Species richness: A geographic approach to protecting future biological diversity. *Bioscience*: 37:783-788.

Shaffer, H. 1989. Natural history, ecology, and evolution of the Mexican "axolotls". *Axolotl Newsletter*, 18: 5-11.

Shaffer, H. B. 1984. Evolution in a paedomorphic lineage. I. An electrophoretic analysis of the Mexican ambystomatid salamanders. *Evolution* 38:1194-1206.

Shaffer, H. B. and M. L. McKnight. 1996. The polytypic species revisited: Genetic differentiation and molecular phylogenetics of the tiger salamander, *Ambystoma tigrinum* (Amphibia: Caudata) complex. *Evolution* 50:417-433.

Stockwell, D. R. B., and Peters D. P. 1999. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *Int. Geographical Information Science* 13, 143-158.

Taylor E. H. 1940. A new Rhyacosiredon (CAUDATA) from western Mexico. *Herpetológica* 1 (7) 171-175.

Taylor R. M. 1947. A Bibliography of Mexican Amphibiology. *Kansas Univ. Sci. Bull.* 31(2):543-589.

Thien J. A. 1969. The Nomenclatural history of genus *Ambystoma*. *Catalogue of American Amphibians and Reptilians*. 75.1-4.

Villaseñor G. J. F. Y L. E. Villaseñor. 1997. Diversidad de aves como indicadores de áreas prioritarias para la conservación biológica en Michoacán. *Ciencia Nicolaita*. 15:83-101.

Villaseñor L. E. 2005. Aves. pp. 101-103. En: La Biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado. Villaseñor G., L. E. (editora). 2005. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

Villaseñor L. E. 2005. Las áreas potenciales para la conservación. pp. 187-193. En: La Biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado. Villaseñor G., L. E. (editora). 2005. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

Villaseñor L. E., V. J. S. Robles, C. L. A. Briseño y G. A. Amador. Áreas Naturales protegidas. Pp. 177-185. En: La Biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado. Villaseñor G., L. E. (editora). 2005. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

Wake D. B. 1991. Declining amphibian populations. *Science* 253(5022):860.

## Anexo I. Registros de localidades

1. *Ambystoma amblycephalum*. (UMMZ 104665; 104962; FMNH 100104; 100711) 15 km W de Morelia Michoacán, México.
2. *Ambystoma amblycephalum*. (UMMZ 104665) 10 km al W de Morelia Michoacán, México.
3. *Ambystoma amblycephalum*. (UMMZ 98967) 24 km S Pátzcuaro; 8 km S de Pátzcuaro Michoacán, México.
4. *Ambystoma amblycephalum*. (FMNH 98642-42; 9988-99; 99900; 99901-04; 99903-06-07-08; 99909-10-11; 99912-26-27; 99928-31-32; 99933-59; 196110; CAS 87834; USNH 116705-20) Tacícuaro Michoacán, México.
5. *Ambystoma amblycephalum*. (UKMNH 38229; RWD 3886; KU 38229) Zacapu Michoacán México.
6. *Ambystoma amblycephalum*. (UKMNH 85005); (IPN 224) Laguna Larga sierra de San Andrés Michoacán México.
7. *Ambystoma amblycephalum*. (CAS 134064) 11 km SSE de Opopeo Michoacán México.
8. *Ambystoma amblycephalum*. (UMMZ 102143-45) 7 mi al SE de Opopeo, km 54 sobre la carretera Quiroga-Tacámbaro Michoacán, México.
9. *Ambystoma amblycephalum*. () Tacícuaro Michoacán, México.
10. *Ambystoma amblycephalum*. (IBH 02364) El Salitrillo, 11.5 km S E de la ciudad de Morelia Michoacán , México.
11. *Ambystoma amblycephalum*. ((HBS 3055) Iratzio, 11.2 mi al E de Quiroga Michoacán, México 2130 msnm.
12. *Ambystoma andersoni*. (USMN 206926-35; HBS 1782; 1790; 1798; 1800; 3025-26; 4176-77; UMMZ 181450-55 ) Laguna de Zacapu Michoacán México (paratipo).
13. *Ambystoma dumerilii*. (IBH 01001; 02797; 04181; 04550-51 05623; 06297; 06267; 02428; MZFC 1002; 1429; 2443; 4252; 4289; 4299; 6316; LACM 53884-5; KMNH 41573; USMN 16201-02; 53361; ND, MVZ 205036-37; IBHED 391-92; 758-63; UMMZ 86161; 114078-79; 138628; 142691; 170149; 181433-

- 35; HBS 4608-09; ND SAM 3730-31; DEH 3386; CMNH 68239; KU 41573; HBS 1834 ) Lago de Pátzcuaro Michoacán México (paratipo).
14. *Ambystoma ordinarium*. (LACM 53917-20; 53922-28; 53929-35; 76561; UTEP, 9695-6) 0.2 a 0.3 mi al W de San José Lagunillas (carr. 15), 33.4 mi al W de Ciudad Hidalgo Michoacán, México
  15. *Ambystoma ordinarium*. (DEH 9914; CMNH 62271) 1 mi al E de San José de las Cumbres (carr. 15) Michoacán, México.
  16. *Ambystoma ordinarium*. (UMMZ 151007-09; 151016; 151012) 11 mi al WNW de Ciudad Hidalgo, Rancho de Axolotl Michoacán México.
  17. *Ambystoma ordinarium*. (KU 51520-35) 2 mi al E San Gregorio Michoacán, México.
  18. *Ambystoma ordinarium*. (CMNH 45907-14) 20 km al E de Opopeo Michoacán, México.
  19. *Ambystoma ordinarium*. (IBHED 524; IBH 6360; 6266) 25 km al S de Patzcuaro, San Gregorio Michoacán México.
  20. *Ambystoma ordinarium*. (LACM, 58300-04) 35 mi al W de Ciudad Hidalgo Michoacán México.
  21. *Ambystoma ordinarium*. (JRD 5904-37; KU 62166-99) 4 km al W de Ciudad Hidalgo Michoacán México.
  22. *Ambystoma ordinarium*. (KU 37634; JRA 2036; KU 37633; 37635-37) 5 mi al SE de Opopeo Michoacán México.
  23. *Ambystoma ordinarium*. (JSF 988-89; KU 194523-24) 7 mi al E del cruce de la carretera 51 y 15 Michoacán, México.
  24. *Ambystoma ordinarium*. (JSF 940; KU 194519) Arroyo de la Presa Pucuatto Michoacán, México.
  25. *Ambystoma ordinarium*. (UMMZ 104663-64) Cerca del Puerto de Garnica, Km 259, 37 mi al E de Morelia Michoacán México)
  26. *Ambystoma ordinarium*. (UMMZ 102146, 102147-48; 121442) Cerro de San Andrés, vertiente W, 11 mi al WNW de Ciudad Hidalgo Michoacán, México.

27. *Ambystoma ordinarium*. (ARB 389; IBH 2364) El Salitrillo, 11.5 km. SE. de la Ciudad de Morelia Michoacán México.
28. *Ambystoma ordinarium*. (MVZ 189144; 189161-64) Hacia el W de Ciudad Hidalgo, sobre la carretera 15 Michoacán México.
29. *Ambystoma ordinarium*. (KU 94380) Mirador de Mil Cumbres Michoacán, México.
30. *Ambystoma ordinarium*. (KU, 194520-22) Zurumbueno/Turundeo Michoacán México.
31. *Ambystoma ordinarium*. (JRD 5904-37) 46 km al E de la ciudad de Morelia Michoacán México.
32. *Ambystoma ordinarium*. (UMNH 27322) Puerto Hondo, a 6.4 km del Mirador Michoacán, México.
33. *Ambystoma ordinarium*. (KU 51520-35) San Gregorio Michoacán México.
34. *Ambystoma ordinarium*. (IBH 6360) 25 km al S de Patzcuaro, San Gregorio Michoacán México.
35. *Ambystoma ordinarium*. (LACM 58303) 35 mi al W de Ciudad Hidalgo Michoacán, México.
36. *Ambystoma ordinarium*. (KU 62187) 4 km al W de Ciudad Hidalgo Michoacán, México.
37. *Ambystoma ordinarium*. (KU 37634) 5 mi al SE de Opopeo Michoacán, México.
38. *Ambystoma ordinarium*. (KU 194524) 7 mi al E del cruce de la carretera 51 y 15, Michoacán, México.
39. *Ambystoma ordinarium*. (UMMZ 104664) Cerca del Puerto de Garnica, Km 259, 37 mi al E de Morelia Michoacán, México.
40. *Ambystoma ordinarium*. (UMMZ 102146) Cerro de San Andrés, vertiente W, 11 mi al NW de Ciudad Hidalgo Michoacán, México.
41. *Ambystoma ordinarium*. (IBH 2364) El Salitrillo, 11.5 km. SE. de la Ciudad de Morelia Michoacán, México.
42. *Ambystoma ordinarium*. (MVZ 189144) Hacia el W de Ciudad Hidalgo, sobre la carretera 15 Michoacán, México.

43. *Ambystoma ordinarium*. (MVZ 189144) W Ciudad Hidalgo on Hwy. 15 Michoacán, México.
44. *Ambystoma ordinarium*. (HBS 9141) 10.5 mi al SE de San Gregorio en la Carretera Pátzcuaro-Tacámbaro Michoacán México.
45. *Ambystoma ordinarium*. (HBS 1865) 0.4 mi al W de San José Lagunillas, entre la ciudad de Morelia y Ciudad Hidalgo sobre la carretera 15.
46. *Ambystoma ordinarium*. (AMNH 105868-73) San José Lagunillas Michoacán México.
47. *Ambystoma ordinarium*. (UMMZ 112857) 2.4 km W de San José de la Cumbre
48. *Ambystoma ordinarium*. (IBH-06266) 25 Km al S de Patzcuaro Michoacán, México.
49. *Ambystoma ordinarium*. (IBH-06360) Laguna de San Gregorio carretera Patzcuaro-Tacámbaro Michoacán, México.
50. *Ambystoma ordinarium*. (UMMZ 102147) 17.7 Km NW Cd Hgo., 0.8 km E Rancho Axolotl Michoacán, México.
51. *Ambystoma ordinarium*. (UMMZ 102148) Cerca de Puerto Garnica Michoacán, México.
52. *Ambystoma ordinarium*. (UIMNH 27315-27317; 30653-58) 20 km E Morelia Michoacán, México.
53. *Ambystoma rivulare*. Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca Chincua
54. *Ambystoma rivulare*. Arroyo de Chincua
55. *Ambystoma rivulare* (MVZ 76145) El capulin Michoacán, México.
56. *Ambystoma rivulare* (MVZ 128888) El salitrillo, Senguio Michoacán, México.
57. *Ambystoma rivulare* La Loma Senguio, Michoacán, México.
58. *Ambystoma velasci*. (IBH 06032) Lago Cuitzítán, Santa Clara del Cobre (Salvador Escalante) Michoacán, México.
59. *Ambystoma velasci*. (MVZ 173474 ; HBS 3155) 3.2 mi W (por carretera) del área urbana, extremo E de Patzcuaro, a lo largo de la ruta Patzcuaro-Uruapan Michoacán México.

60. *Ambystoma velasci*. (GCA-5674-5677) Santa Clara del Cobre, Lago Cuitzillan, colecta del lado O, 2.5 km desv. Carr. Fed. Pátzcuaro-Ario de Rosales. Michoacán México.
61. *Ambystoma velasci*. 10 km OE Morelia en Las Garzas Michoacán México.
62. *Ambystoma velasci*. Tunguitiro Michoacán México.
63. *Ambystoma velasci*. 3.2 km al E de San Gregorio Michoacán, México.

## Anexo II. Nomenclatura de las colecciones científicas

Nombre de la Institución	Siglas de la Colección
American Museum of Natural History New York	AMNH
Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala	ENEPI
Hawaii Biological Survey Database	HBS
Herpetology Collection Catalog Natural History Museum	CAS
Instituto de Biología de Herpetología UNAM	IBH
Instituto Politécnico Nacional	IPN
Museo de Zoología Alfonso L. Herrera Facultad de Ciencias UNAM	MZFC
Museum of Comparative Zoology of Harvard University	MCZ
Museum of Vertebrate Zoology, University of California Berkeley	MVZ
Natural History Museum of Los Angeles	LACM
Texas Cooperative Wildlife Collection	TCWC
The Cleveland Museum of Natural History	CMNH
The Field Museum of Natural History, Chicago	FMNH
The University of Illinois Museum of Natural History	UIMNH
The University of Kansas Museum	KU
The University of Texas at El Paso Collection	UTEP
University of Kansas Herpetology Collection	UKHC
University of Kansas Museum of Natural History	UKMNH
University of Michigan Museum of Zoology	UMMZ

### Anexo III. Áreas Naturales Protegidas de carácter Federal.

NOMBRE DE LA ANP	CATEGORÍA DEL DECRETO	MUNICIPIOS	SUPERFICIE DEL DECRETO (Has)
MARIPOSA MONARCA	RESERVA DE LA BIOSFERA	MICHOACÁN: CONTEPEC, SENGUIO, ANGANGUEO, OCAMPO, ZITÁCUARO Y ÁPORO.	42 000
LAGO DE CAMECUARO	PARQUE NACIONAL	TANGANCÍCUARO.	9.65
RAYON	PARQUE NACIONAL	TLALPUJAHUA.	25.00
CERRO DE GARNICA	PARQUE NACIONAL	HIDALGO Y QUERENDARO.	968.00
INSURG. JOSE MARIA MORELOS	PARQUE NACIONAL	CHARO Y TZITZIO	4 324.75
PICO DE TANCITARO	PARQUE NACIONAL	TANCÍTARO, NUEVO PARANGARICUTIRO, PERIBAN Y URUAPAN	23 154.11
BARRANCA DEL CUPATITZIO	PARQUE NACIONAL	URUAPAN	452.00
CUENCA DEL LAGO DE PÁTZCUARO	ÁREA DE PROTECCIÓN DE RECURSOS NATURALES	PÁTZCUARO, HUIRAMBA, TZINTUNTZAN, QUIROGA Y ERONGARÍCUARO	957.00
CUENCA DEL RÍO CHIQUITO DE MORELIA	ÁREA DE PROTECCIÓN DE RECURSOS NATURALES	MORELIA	73.75
CIUDAD DE TACÁMBARO	ÁREA DE PROTECCIÓN DE RECURSOS NATURALES	TACÁMBARO	360.00
CIUDAD DE ZITÁCIARO	ÁREA DE PROTECCIÓN DE RECURSOS NATURALES	ZITÁCUARO	136.8
CIUDAD DE URUAPAN	ÁREA DE PROTECCIÓN DE RECURSOS NATURALES	URUAPAN	136.6
CIUDAD DE ARIO DE ROSALES	ÁREA DE PROTECCIÓN DE RECURSOS NATURALES	ARIO DE ROSALES	138.00
LOS AZUFRES	ÁREA DE PROTECCIÓN DE RECURSOS NATURALES	ZINAPÉCUARO, HIDALGO Y MARAVATÍO	86.81
EL TEMAZCAL	ÁREA DE PROTECCIÓN DE RECURSOS NATURALES	CHARO E INDAPARAPEO	8.34
PRESA ANGOSTITLÁN (MATA DE PINOS)	APRN PARA LA PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	HIDALGO	5 000
PRESA PUCUATO	APRN PARA LA PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	HIDALGO	4 900

PRESA SABANETA	APRN PARA LA PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	HIDALGO	1 000
PRESA CHINCUA	APRN PARA LA PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	SENGUIO	20 000
PRESA COINTZIO	APRN PARA LA PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	MORELIA	20 000
PRESA COPÁNDARO	APRN PARA LA PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	COPÁNDARO (JIMÉNEZ)	19 000
PRESA GUARACHA	APRN PARA LA PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	VILLAMAR	17 900
PRESA JARIPO	APRN PARA LA PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	VILLAMAR	9 600
PRESA LAGUNA DEL FRESNO	APRN PARA LA PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	MARAVATÍO	4 900
PRESA MALPAÍS	APRN PARA LA PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	QUERENDARO Y ZINAPÉCUARO	15 600
PRESA MELCHOR OCAMPO	APRN PARA LA PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	ANGAMACUTIRO	54 200
PRESA SAN JUANICO	APRN PARA LA PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	COTIJA	15 100
PRESA TARECUATO	APRN PARA LA PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	TINGUINDÍN	5 400
PRESA TEPUXTEPEC	APRN PARA LA PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	CONTEPEC Y EPITACIO HUERTA	16 000
PRESA UREPETIRO	APRN PARA LA PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	TLAZAZALCA	25 800

APRN.- ÁREA DE PROTECCIÓN DE RECURSOS NATURALES

Fuente: Villaseñor *et al*, 2005

Anexo IV. Áreas Naturales Protegidas del Estado de Michoacán de carácter Estatal.

NOMBRE DE LA ANP	CATEGORÍA DEL DECRETO	MUNICIPIOS	SUPERFICIE DEL DECRETO (hectáreas)
LA ALBERCA LOS ESPINOS	ZONA SUJETA A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	JIMÉNEZ	142.23
LAS TINAJAS	ZONA SUJETA A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	HUANDACAREO	254.266
CERRO PUNHUATO	ZONA SUJETA A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	MORELIA	78.855
LAGUNA DE ZACAPU Y SU RIVERA TZACAPO TACANENDAM	ZONA SUJETA A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	ZACAPU	56.350
PARQUE ECOLÓGICO AGUA TIBIA-JEROCHE	ZONA SUJETA A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	PURUNADIRO	683.123
EX ESCUELA AGRICOLA DENOMINADA LA HUERTA	ZONA SUJETA A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	MORELIA	271.330
LOMA DE SANTA MARÍA Y DE PRESIONES ALEDAÑAS A LA CIUDAD DE MORELIA	ZONA SUJETA A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	MORELIA	21.615
CHORROS DEL VARAL	ZONA SUJETA A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	LOS REYES	72.77
LOS MANANTIALES DE PARÁCUARO	ZONA SUJETA A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	PARÁCUARO	70.13
MANANTIAL LA MINTZITA	ZONA SUJETA A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	MORELIA	419.60
AGUA CALIENTE	ZONA SUJETA A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	MARCOS CASTELLANOS	38.07
CERRO PELÓN	ZONA SUJETA A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	PARACHO	23.50
CERRO DEL ESTRIBO GRANDE	ZONA SUJETA A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	PÁTZCUARO	273.21
CERRO HUECO Y LA ALBERCA	ZONA SUJETA A CONSERVACIÓN ECOLÓGICA	TACÁMBARO	31.58
FRANCISCO ZARCO	PROTOTIPO	MORELIA	17.104
FIDEICOMISO DE LA CIUDAD INDUSTRIAL DE MORELIA	PARQUE URBANO ECOLÓGICO	MORELIA	89.112
INSTITUTO TECNOLÓGICO AGROPECUARIO #7	PARQUE URBANO ECOLÓGICO	TARÍMBARO	7.359
PARQUE URBANO ECOLÓGICO LIC. SALVADOR BERNAL MUNGUÍA	PARQUE URBANO ECOLÓGICO	URUAPAN	7.592
CAPACUARO	PARQUE URBANO ECOLÓGICO	URUAPAN	7.592
LA EUCALERA DE PASO DE HIDALGO	PARQUE URBANO ECOLÓGICO	BRISEÑAS	76.609

Fuente: Villaseñor *et al*, 2005