



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN GEOGRAFÍA

APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO UTILIZANDO A LOS ANFIBIOS COMO INDICADORES, PARA LA PRIORIZACIÓN DE ÁREAS APTAS PARA LOS SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:
ALFONSO CARBAJAL DOMÍNGUEZ

TUTORES PRINCIPALES
DR. JOSÉ LÓPEZ GARCÍA, INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM.
DR. VÍCTOR HUGO REYNOSO ROSALES, INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM.

MÉXICO, D.F. SEPTIEMBRE 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Muchas gracias al Programa de Posgrado en Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual me permitió cumplir una meta más en mi vida profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), al haberme otorgado una beca y un apoyo que me permitió financiar la presente investigación.

Al Dr. José López García, por aceptar ser mi tutor por segunda ocasión, le agradezco su confianza y apoyo.

Al Dr. Víctor Hugo Reynoso Rosales (cotutor), por su amistad, apoyo y confianza.

Al Mtro. Pablo Leautaud Valenzuela, un amigo increíble, muchas gracias por apoyarme y compartir tus conocimientos, los cuales enriquecieron este trabajo.

Al Biól. David (Garambullo) de Jesús Pastén Téllez por su amistad, apoyo y compañía en el trabajo de campo, gracias por todas esas historias.

Al geógrafo Alejandro Galindo Serrano por su apoyo y consejos en el método empleado.

A los miembros del sínodo evaluador: Dra. Laura Elena Maderey Rascón, Dra. Patricia Koleff Osorio, Mtro. José Manuel Espinoza Rodríguez. Por revisar y enriquecer con sus comentarios esta tesis.

A Don Pedro Silva y a su hijo Ceferino Silva, por su amistad y apoyo en el trabajo de campo realizado en el municipio de Ocampo, Michoacán.

A Gregorio Mejía Martínez y a toda su familia por su amistad y apoyo en el trabajo de campo realizado en el municipio de Senguio, Michoacán.

A la WWF especialmente a Eduardo Rendón y Pablo Ángeles por el apoyo logístico para el trabajo de campo.

A los expertos en anfibios por su apoyo para el análisis multicriterio: Biól. Adriana González Hernández, Mtro. José Alberto Cruz Silva, Biól. Juan Jesús Juárez Ortiz y Dra. Gabriela Parra Olea.

A todos los profesores que compartieron sus conocimientos y experiencias durante mis estudios de maestría, y especialmente a la Dra. Gloria Portales Betancourt (1963-2014).

Agradecimientos personales

En primer lugar a mi familia por su infinito apoyo en cada etapa de mi vida, para mí ha sido invaluable cada uno de sus consejos y enseñanzas, los quiero.

A mis amigos, con los que se siempre puedo contar en las buenas y malas, así también como para divertirnos, viajar y disfrutar muchas experiencias: Maviael Velázquez, Antonio Contreras, Hazziel Padilla, Ivan Ransom, Fernando Pérez, Fabiola Gress, Felipe Juárez, Eduardo Rodríguez, Carlos Ortega, Antonio Carbajal, Daniela Ávila, Guadalupe Hernández, Hefzi Villarruel, Víctor M. González, Saddam Morales, Alan Gonzales y a todos mis amigos de la Facultad de Ciencias, del Posgrado en Geografía y los QVG-Amigos!

A María Reyna Félix Ortiz y a toda su familia especialmente a Reyna Ortiz y Estanislao Ortiz, por su confianza y los buenos momentos que convivimos.

El trabajo duro, derrota al talento natural.

-Rock Lee-



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	11
I. INTRODUCCIÓN.....	12
II. OBJETIVOS.....	15
II.1 General	15
II.2 Particulares	15
III. HIPÓTESIS	16
IV. ANTECEDENTES	16
IV.1 La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca	16
IV.2 Servicios ambientales	28
IV.2.1 Conceptos fundamentales.....	28
IV.2.2 Servicios ambientales forestales.....	29
IV.2.3 Servicios ambientales hidrológicos.....	32
IV.2.4 Esquema del pago por servicios ambientales.....	35
IV.2.5 Pago por servicios ambientales en México.....	36
IV.2.6 Pago por servicios ambientales en la RBMM.....	40
IV.3 Anfibios: indicadores faunísticos de la conservación de los ecosistemas ..	45
IV.3.1 Indicadores ambientales.....	45
IV.3.2 Funciones y características de los indicadores ambientales.....	46
IV.3.3 Indicadores faunísticos.....	49
IV.3.4 Anfibios como indicadores de la salud de los ecosistemas.....	50
IV.3.5 Atributos de los anfibios en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca como indicadores del estado de conservación de sus bosques.....	56
V. MÉTODOS Y HERRAMIENTAS PARA DETERMINAR LAS ÁREAS APTAS PARA LOS SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS	59
V.1 Marco teórico.....	59
V.2 Anfibios como indicadores relevantes para la identificación de sitios prioritarios de conservación	60
V.3 Sistemas de información geográfica y la conservación de la diversidad biológica.....	61
V.3.1 Tipos de datos en un SIG.....	63
V.4 Determinación de la superficie a modelar.....	65

V.5 Identificación de factores y selección de las capas	66
V.5.1 Altitud.	66
V.5.2 Cobertura de la vegetación.	69
V.5.3 Orientación de laderas.	72
V.5.4 Pendiente.	74
V.5.5 Distancia a corrientes hídricas.....	76
V.5.6 Distancia a localidades.....	78
V.5.7 Tipo de vegetación.	80
V.5.8 Temperatura.....	82
V.6 Trabajo de campo.....	84
V.6.1 Muestreo de anfibios.	84
V.6.2 Construcción de la base de datos.	86
V.7 Método para determinar las áreas aptas para los SAH	89
V.7.1 Análisis Multicriterio.....	89
V.7.2 Procedimiento.....	89
V.8 Pesos de Evidencia (Weights of Evidence, WOFE).....	94
V.8.1 Cálculo de los pesos de evidencia.	95
V.8.2 Procedimiento y validación del modelo.	98
V.9 Clasificación de las zonas preferentes de los anfibios.....	102
V.10 Mapa de especies compartidas	103
VI. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LOS MODELOS DE EVALUACIÓN.....	104
VI.1 Evaluación multicriterio	104
VI.1.1 <i>Ambystoma rivulare</i>	104
VI.1.2 Salamandras terrestres.	105
VI.1.3 Anuros.....	107
VI.1.4 <i>Hyla plicata</i>	107
VI.1.5 <i>Lithobates spectabilis</i>	108
VI.2 Evaluación de los modelos	110
VI.2.1 <i>Ambystoma rivulare</i>	110
VI.2.2 Salamandras terrestres.	111
VI.2.3 Anuros	113

VI.3 Predicción de zonas preferentes para los anfibios en la Reserva de la Mariposa Monarca	115
VI.4 Especies compartidas en la reserva	130
VI.5 Superficie de Pago por Servicios Ambientales y la predicción de anfibios en la reserva	133
VI.6 Áreas prioritarias para los Servicios Ambientales	138
VI.7 Información de los anfibios en los Ejidos: Cerro Prieto, El Capulín, San Cristóbal y Senguio.	145
VII. DISCUSIÓN.....	151
VII.1 Análisis multicriterio y pesos de evidencia.....	151
VII.2 El pago por servicios ambientales en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca	154
VII.3 Anfibios y sociedad.....	155
VIII. CONCLUSIONES.....	158
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	161

TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Localización del área en estudio (Fuente: Conjunto de datos vectoriales INEGI, 2010).	18
Figura 2. Zona de estudio (Fuente: Conjunto de datos vectoriales INEGI, 2010).	18
Figura 3. Mapa altimétrico (Fuente: Conjunto de datos vectoriales INEGI, 2010)	20
Figura 4. Hidrografía (Fuente: Conjunto de datos vectoriales INEGI, 2010).....	22
Figura 5. Clima (Fuente: Conjunto de datos vectoriales INEGI, 2010)	24
Figura 6. Cobertura de la vegetación 2005 (INEGI,2012)	27
Figura 7. Servicios Ambientales Forestales (http://www.metsa.fi)	30
Figura 8. Deforestación en la zona núcleo de la Reserva Monarca (WWF México, 2013).	43
Figura 9. Metamorfosis de los anuros (Fuente: Tim Hunt, meetyouneighbours.net).....	51
Figura 10. Número de especies de anfibios de México por estado de la república, Fuente: (Parra-Olea, Flores-Villela, & Mendoza-Almeralla, 2014).....	54
Figura 11. Capas de información en un SIG (http://imsturex.unex.es).	64
Figura 12. Capas de información en un SIG (http://imsturex.unex.es).	65
Figura 13. Mapa de altitud (Fuente: Conjunto de datos vectoriales INEGI, 2010).	68
Figura 14. Mapa de la cobertura de la vegetación 2012.....	71
Figura 15. Mapa de orientación de laderas.	73
Figura 16. Mapa de pendientes.	75
Figura 17. Mapa de distancia a corrientes hídricas	77
Figura 18. Mapa de distancia a localidades.	79
Figura 19. Mapa de tipos de vegetación.	81
Figura 20. Mapa de temperatura.....	83
Figura 21. Abundancia relativa de los anfibios seleccionados para los modelos (TC: Trabajo de campo, P: publicados y no publicados).	86
Figura 22. Mapa de muestreo de anfibios.	88
Figura 23. Esquema del método empleado para generar cada uno de los mapas de la distribución potencial de los anfibios en la reserva.	101
Figura 24. Clasificación de los píxeles asignados a <i>Ambystoma rivulare</i>	103
Figura 25. Peso final de las variables más importantes para <i>Ambystoma rivulare</i>	105
Figura 26. Peso final de las variables más importantes para las salamandras de la familia Plethodontidae, <i>Pseudoeurycea bellii</i> , leprosa y longicauda.	106
Figura 27. Peso final de las variables más importantes <i>Hyla plicata</i>	108

Figura 28. Peso final de las variables más importantes <i>Lithobates spectabilis</i>	109
Figura 29. Resultados de los registros control de <i>Ambystoma rivulare</i>	110
Figura 30. Resultados de los registros control de <i>Pseudoeurycea bellii</i>	111
Figura 31. Resultados de los registros control de <i>Pseudoeurycea longicauda</i>	112
Figura 32. Resultados de los registros control de <i>Pseudoeurycea leprosa</i>	112
Figura 33. Resultados de los registros control de <i>Hyla plicata</i>	113
Figura 34. Resultados de los registros control de <i>Lithobates spectabilis</i>	114
Figura 35. Superficie de predicción de <i>Ambystoma rivulare</i> en la RBMM.	115
Figura 36. Mapa de predicción de <i>Ambystoma rivulare</i> en la RBMM.	117
Figura 37. Superficie de predicción de <i>Pseudoeurycea bellii</i> en la RBMM.	119
Figura 38. Superficie de predicción de <i>Pseudoeurycea longicauda</i> en la RBMM.	120
<i>Figura 39. Superficie de predicción de Pseudoeurycea leprosa en la RBMM.</i>	121
Figura 40. Mapa de predicción de <i>Pseudoeurycea bellii</i> en la RBMM.	122
Figura 41. Mapa de predicción de <i>Pseudoeurycea leprosa</i> en la RBMM.	123
Figura 42. Mapa de predicción de <i>Pseudoeurycea longicauda</i> en la RBMM.	124
Figura 43. Superficie de predicción de <i>Hyla plicata</i> en la RBMM.	125
Figura 44. Mapa de predicción de <i>Hyla plicata</i> en la RBMM.	127
Figura 45. Superficie de predicción de <i>Lithobates spectabilis</i> en la RBMM.....	128
Figura 46. Mapa de predicción de <i>Lithobates spectabilis</i> en la RBMM.....	129
Figura 47. Superficie compartida por anfibios en la RBMM.....	131
Figura 48. Número de especies compartidas en la RBMM.....	132
Figura 49. Mapa correspondiente al Pago por Servicios Ambientales y la superficie de predicción de anfibios.	137
Figura 50. Asociación de las especies a la cobertura vegetal en áreas ausentes de PSA (a: mapa de cobertura forestal; b: especies compartidas sobre la capa de cobertura forestal).....	139
Figura 51. Número de ejidos con prioridad de conservación.....	143
Figura 52. Mapa de prioridad de conservación para los servicios ambientales (El número corresponde a la zona asignada para cada ejido de acuerdo con el cuadro 15)	144
Figura 53. Número de habitantes encuestados en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca.....	146

TABLA DE CUADROS

Cuadro 1. Relación de los procesos ecosistémicos hidrológicos a los servicios hidrológicos. Cada servicio tiene los atributos de cantidad, calidad, ubicación y tiempo de flujo (Brauman, et al., 2007).....	34
Cuadro 2. Principales causas de la deforestación en México (SEMARNAT, 2006a, 2006b; CONAGUA, 2007; Perevochtchikova y Ochoa M, 2012).....	38
Cuadro 3. ANP que participaron en programa PSA 2003-2008 por región (Fuente: (CONANP_a, 2010).....	40
Cuadro 4. Listado de las especies descritas en la RBMM (Fuente: Sánchez-Núñez, 2007 y Carbajal-Domínguez, 2012.	55
Cuadro 5. Leyenda de la clasificación de la cobertura forestal y uso de suelo.	70
Cuadro 6. Escala base para realizar la comparación de importancia de cada parámetro.	90
Cuadro 7. Matriz de pares	90
Cuadro 8. Resultados de encuestas aplicadas a especialistas para la salamandras del género Pseudoeurycea.....	92
Cuadro 9. Cálculo de peso específico de cada encuesta para las salamandras del género Pseudoeurycea.....	93
Cuadro 10. Integración de los resultados de las encuestas para el cálculo del peso específico.	94
Cuadro 11 Enfoques utilizados para calcular los pesos.	97
Cuadro 12. Tabla para el cálculo de Peso Final de cada unidad de la capa de temperatura media anual para Pseudoeurycea.....	99
Cuadro 13. Superficie con Pago por Servicios Ambientales y sin PSA en la reserva.	135
Cuadro 14. Superficie importante para los anfibios en la reserva.	135
Cuadro 15. Ejidos prioritarios para su conservación de acuerdo a la riqueza de especies que presentan (el gradiente de color resalta la mayor superficie de distribución potencial de anfibios).....	140
Cuadro 16. Categoría de conservación de los anfibios en la Lista roja (2014) y la Normal 059.	147

RESUMEN

Los beneficios ambientales son aquellos servicios que derivan de los ecosistemas de manera natural y que intervienen de manera directa e indirecta en el mantenimiento de la vida. Mantener la funcionalidad de los ecosistemas y sus servicios ambientales, requiere de un indicador que esté relacionado con la conservación de los ecosistemas y sea efectivo de muestrear. Los anfibios, durante años, han demostrado ser el indicador faunístico adecuado, debido a sus características biológicas, como su vulnerabilidad a los cambios ambientales, contaminación y ciclos de vida, además de ser relativamente fáciles de muestrear. Utilizando el análisis multicriterio y pesos de evidencia se modeló la predicción de seis especies de anfibios para determinar las áreas mejor conservadas y, por lo tanto, de importancia para la funcionalidad de los servicios ambientales en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Los resultados determinaron que 81.25% de la zona núcleo de la reserva es de importancia para los anfibios, pero sólo el 72.21% se encuentra beneficiada por el Pago por Servicios Ambientales (PSA). En la zona de amortiguamiento la superficie de importancia para este grupo es del 66.47% pero únicamente el 31.23 % se encuentra beneficiado por un PSA. Actualmente, la reserva solo cuenta con 66.29% de su superficie con PSA y el área de importancia total para los anfibios es de 69.91%. Al sobreponer la capa de distribución potencial de anfibios, en la capa de cobertura forestal, se observa que las áreas con mayor predicción de especies, esta asocia con la cobertura forestal, lo que indica que proteger las áreas forestales a las que se está asociando una mayor riqueza anfibios, sin duda estará resguardando los sitios mejor conservados y de importancia para la funcionalidad de los servicios ambientales, principalmente hidrológicos.

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas tanto acuáticos como terrestres condicionan la vida y determinan las diferencias en la anatomía, el funcionamiento y el comportamiento de los seres que viven en ellos. Estos son la fuente principal de subsistencia, así como del desarrollo económico y social en todo el mundo. Actualmente existen una gran diversidad de funciones, procesos, bienes y servicios que derivan de los ecosistemas. En el último siglo las actividades humanas, entre las que destacan el cambio de uso de suelo, la destrucción y fragmentación de hábitats o la introducción de especies exóticas, han tenido impactos graves y significativos en la estructura, composición y función de los ecosistemas naturales, así como la alteración de los ciclos biogeoquímicos (Hassan, Scholes, & Neville, 2005; Montes & Sala, 2007).

México es un país de alta biodiversidad por pertenecer a dos zonas biogeográficas, lo que origina una amplia variedad de ecosistemas naturales que incluyen selvas, bosques, matorrales y manglares, entre otros, los cuales son ecosistemas que resguardan una gran diversidad y provisión de servicios ambientales. Actualmente, la diversidad de los recursos genéticos, especies, ecosistemas y los servicios ambientales que nos brindan, y que son esenciales para el desarrollo de la sociedad, no han sido valorados apropiadamente. Estos servicios ambientales se han utilizado inadecuadamente, desperdiciando su valor intrínseco y cultural en gran medida, originando un deterioro y el mal manejo de los mismos, dejando a un lado el potencial para el desarrollo económico y social (Sarukhán *et al*, 2012).

Los bosques sin duda desempeñan un papel de suma importancia para la conservación de los ciclos biogeoquímicos, los servicios ambientales tales como captación, infiltración y provisión de agua en calidad y cantidad, conservación de la biodiversidad, mitigación de los efectos del cambio climático mediante la captura del carbono, retención y formación de suelo y belleza escénica. El sector forestal en México presenta un alarmante panorama relacionado con la deforestación y degradación a consecuencia del cambio del uso de suelo para actividades como la ganadería, agricultura y uso habitacional por el crecimiento urbano lo que impacta en las emisiones de carbono y cambio climático, pero también en la destrucción de hábitats de plantas y animales, provocando la erosión del suelo y sedimentación de ríos (Simula & Mansur, 2011). Si mencionamos el estado actual de los bosques en México podemos decir que son ecosistemas alterados por el hombre. Estas áreas arboladas en un buen estado de conservación llegan a proveer servicios y bienes ambientales, que son aprovechados por las sociedades ya sea de manera directa o indirecta. En la actualidad, año tras año, ha aumentado la demanda del recurso hídrico y sigue en aumento, al mismo tiempo que disminuye el volumen de agua disponible en cantidad y calidad para el uso humano (Perevochtchikova & Vázquez, 2012).

El agua dulce, la luz y la temperatura, entre otros factores, determinan la cantidad de vida y de distintas especies en un área específica. El recurso agua que se encuentra en los bosques de zonas templadas y húmedas, mantienen una riqueza baja de especies de fauna pero con abundancias altas (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, 2006).

Actualmente se ha comprobado que los anfibios son indicadores fiables de la salud de los ecosistemas fluviales y forestales. Los anfibios son organismos muy sensibles a las perturbaciones de los ambientes terrestres y acuáticos, debido a que son el único grupo de vertebrados que poseen una fase de vida acuática (larvaria) y otra terrestre (adulto), lo que les hace sensibles a las alteraciones en ambos medios, derivados de sus historias de vida, adaptaciones fisiológicas, su alta especialización y requerimientos específicos de microhábitats, que necesitan para sobrevivir (Bury, 1988; Wake, 1991; Hartwell, Welsh, & Droege; Rapport, 1992; Blaustein, Wake, & Waney, 1994).

Si bien los ecosistemas estresados o degradados no siempre manifiestan síntomas como la alteración en la estructura de la comunidad biótica, pero sí una reducción en la productividad. También se ha documentado que existe una reducción en la riqueza de especies, pocas relaciones simbióticas y más especies oportunistas o exóticas, además de la prevalencia de enfermedades (Rapport, Regier, & Hutchinson, 1985). Los primeros signos del estrés ambiental por lo general se producen a nivel de población, afectando a las especies especialmente sensibles (Rapport, 1992). Por lo cual especies sensibles como los anfibios son candidatos obvios como especies indicadoras en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca.

En México desde el año 2003 se han desarrollado iniciativas para pagar los servicios ambientales hidrológicos en los que se incluyen los de soporte/regulatorio, aprovisionamiento y cultural (White, Wester, Huber-Lee, Thai Hoanh, & Gichuki, 2008). A través de ese programa se ofrecen apoyos para la conservación y manejo sustentable de los ecosistemas forestales, para que se sigan manteniendo los

diversos servicios ambientales. En el contrato que se realiza entre los dueños de la tierra y la CONAFOR, los primeros aceptan mantener la cobertura forestal o realizar prácticas para conservar los ecosistemas naturales del predio, y la CONAFOR se compromete a pagar una compensación fija por hectárea durante un periodo de cinco años (CONAFOR, 2011).

El uso de los anfibios como indicadores del estado de la salud de los ecosistemas sin duda puede ayudar a evaluar el estado de conservación, las propiedades forestales y la calidad de los servicios ambientales hidrológicos en la RBMM. Con ellos se puede generar un modelo apoyado en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para predecir áreas aptas e importantes para mantener los beneficios ambientales, al saber que son organismos que están relacionados con factores de conservación.

II. OBJETIVOS

II.1 General

Delimitar las áreas potencialmente aptas para la conservación y calidad de los servicios ambientales hidrológicos en la RBMM.

II.2 Particulares

1. Conocer el estado general de los anfibios en la reserva.
2. Determinar los factores físicos y antrópicos que se correlacionan con las especies.

3. Conocer la aptitud-impacto de las principales áreas para los servicios ambientales hidrológicos.

III. HIPÓTESIS

Si los anfibios requieren de ambientes conservados, principalmente libres de contaminación y actividad antropogénica, es posible que las áreas forestales, sean aquellas que cuenten con estas características y por lo tanto pudieran presentar una mayor riqueza de especies.

Los síntomas de un ecosistema estresado se basan principalmente en la baja productividad y menor riqueza de especies. Una vez obtenidos los modelos de predicción de especies y habiéndolos superpuesto, éstos podrían indicar que áreas mantienen un estrés o un vigor, esperando que zona núcleo sea la que mantiene un vigor y la zona de amortiguamiento sea un área estresada.

IV. ANTECEDENTES

IV.1 La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca

Esta reserva se localiza al oeste del Estado de México y al este del Estado de Michoacán (Figura 1 y Figura 2) comprendida entre los meridianos 99° 55' y 100° 54' de longitud oeste y los paralelos 19° 00' y 20° 17' de latitud norte; en el Sistema Volcánico Transversal. Esta Área Natural Protegida comprende 27 municipios entre los que se encuentran circunscritos 11 municipios del Estado de México (Amanalco, Donato Guerra, Ixtapan del Oro, El Oro, San José del Rincón, San Felipe del Progreso, Temascalcingo, Temascaltepec, Valle de Bravo, Villa de Allende y Villa

Victoria) y 16 municipios en el Estado de Michoacán (Zitácuaro, Ocampo, Aporo, Angangueo, Senguio, Contepec, Tuxpan, Irimbo, Tlalpujahuá, Hidalgo, Maravatío, Epitacio Huerta, Jungapeo, Tuzantla, Juárez y Susupuato). La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) fue decretada el 10 de noviembre del año 2000, con una superficie de 56,259 hectáreas, divididas en tres zonas núcleo con una superficie total de 13,552 ha y dos zonas de amortiguamiento de 42,708 ha. El área cuenta con un programa de manejo publicado el 30 de abril del 2001 en el Diario de la Federación.

El relieve que presenta la reserva (Figura 3) es un sistema montañoso discontinuo, intensamente disecado por fuertes procesos tectónicos, compuestos de un conjunto de sierras y lomeríos, agrupada en la porción centro-sur del Sistema Volcánico Transversal y separada por pequeños valles intermontanos y llanuras. La altitud del área oscila entre 2000 y 3600 msnm. Principalmente en la zona núcleo es donde se registra la mayor altura (Garduño, 2011).

La geología del lugar está determinada por eventos volcánicos del Terciario superior cuyos materiales cubren secuencias metamórficas y sedimentarias del Mesozoico. Principalmente la reserva está compuesta por rocas ígneas extrusivas debido a abundantes efusiones basálticas que representan exuberantes conos volcánicos, derrames lávicos, lahares, depósitos de brecha volcánica y cenizas (Tamayo, 1962; Garduño, 2011; Vazquez-Quintana, 2012). A consecuencia de la permeabilidad de los depósitos volcánicos la reserva tiene un sistema muy dinámico entre el agua subterránea y el drenaje superficial lo ha generado un gran número de manantiales, corrientes y ríos.

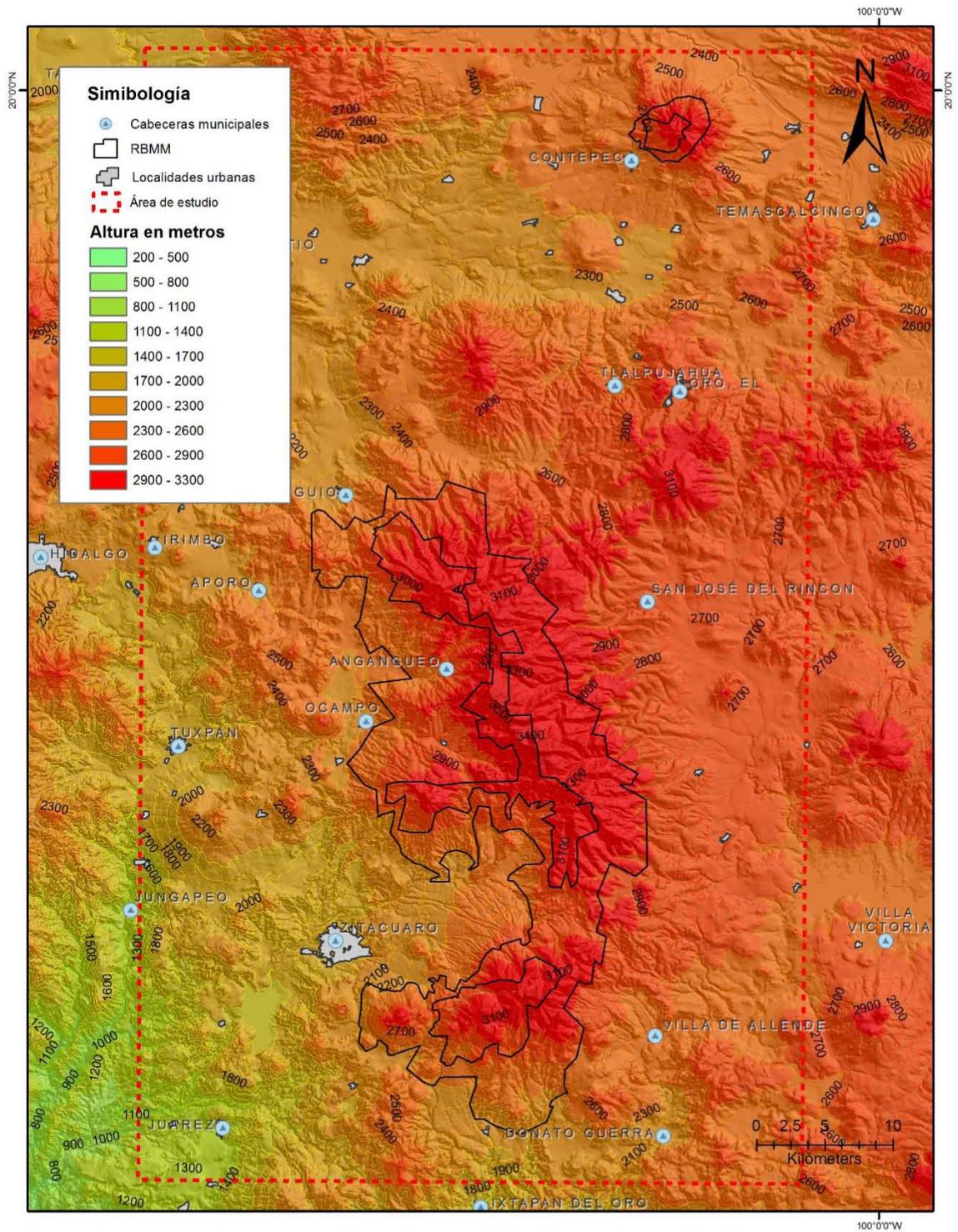


Figura 3. Mapa altimétrico (Fuente: Conjunto de datos vectoriales INEGI, 2010)

La Región Hidrográfica (RH) en la que se encuentra el área en estudio (*Figura 4*), corresponde a la RH 12 y RH 18, y corresponde a las cuencas del Balsas y Lerma-Santiago que abastecen de agua a las ciudades de México y Toluca. Tiene una divisoria de aguas con dirección noroeste-sureste, lo que ocasiona que los escurrimientos de la parte noreste abastezcan a la región hidrológica Lerma-Santiago, mientras que los de la porción sureste se incorporan a la región hidrológica del Balsas. Los aportes hidrológicos como la recarga de acuíferos y la producción de agua que por filtración o escurrimiento fluye hacia importantes áreas de captación y embalse, y son aprovechados por la población local que asciende a 500.000 habitantes. Actualmente la reserva aporta un 40% de agua al Sistema Cutzamala (CONANP_b, 2001; Garduño, 2011).

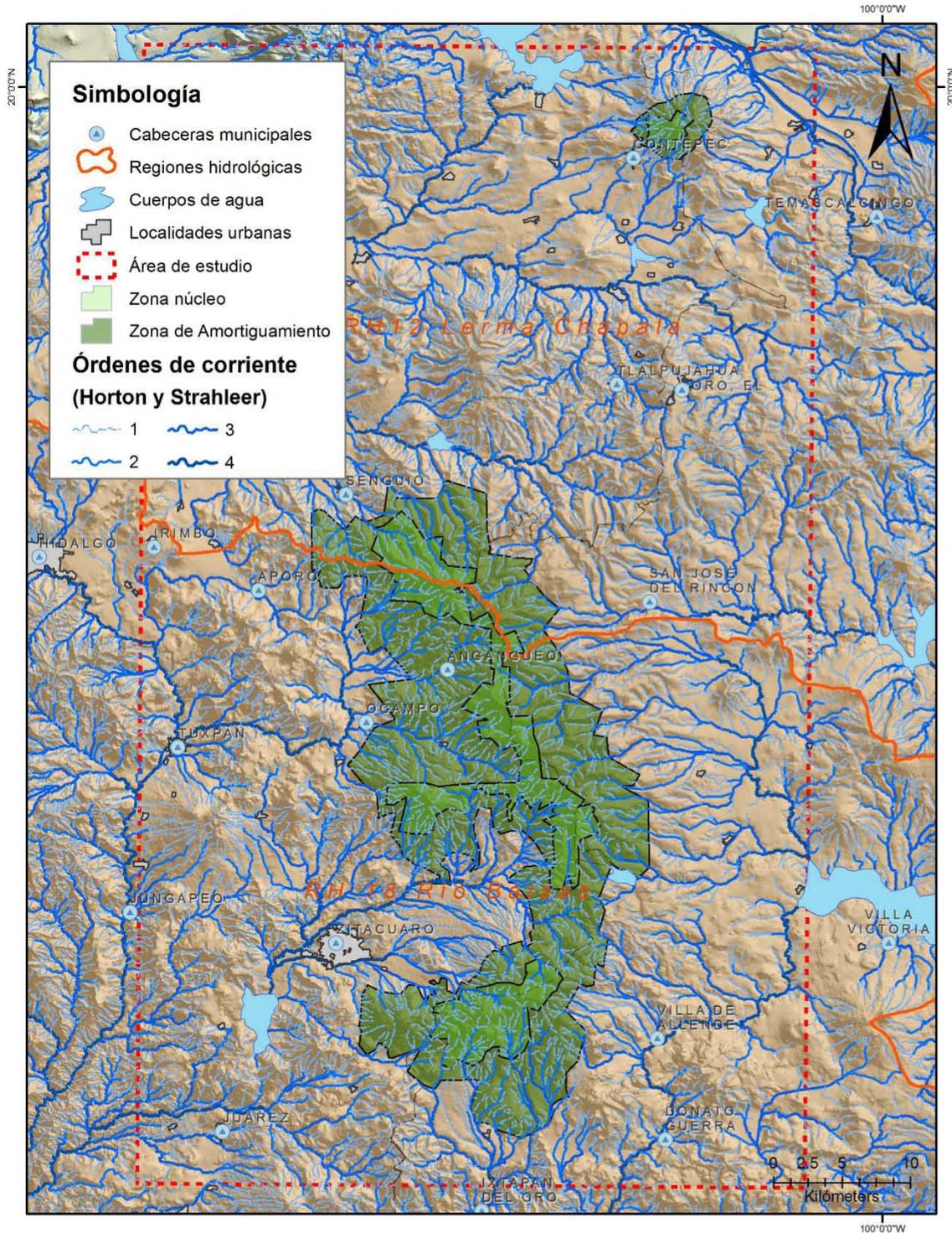


Figura 4. Hidrografía (Fuente: Conjunto de datos vectoriales INEGI, 2010)

En la zona de estudio con base al Sistema de Clasificación de Koppen y modificado por E. García, el clima corresponde al tipo C (w2) (w) (b') (i')] (García, 1998) (Figura 5), asignado como semifrío y el más húmedo de los templados subhúmedos con lluvias en verano, con temperatura media anual inferior a 12 ° C y con temperatura del mes más caliente cercana a los 22 °C, mientras que para el mes más frío es de -3° a 8°. En este tipo de clima predominan los bosques de coníferas principalmente el bosque de Oyamel. La precipitación promedio es de 700 mm, hasta 1250 mm (García, 1973; CONANP_b, 2001).

En la reserva a nivel local se distinguen tres microclimas que corresponden con los diferentes pisos altitudinales. El clima Templado-Subhúmedo que se localiza de 2,000 a 2,500 m, la zona Semifrío-Subhúmeda que registra la mayor extensión con un rango altitudinal de 2,500 a 3,000 m y por último la zona Fría-Subhúmeda que es menos extensa y con una altitud mayor a los 3,000 m (CONANP_b, 2001).

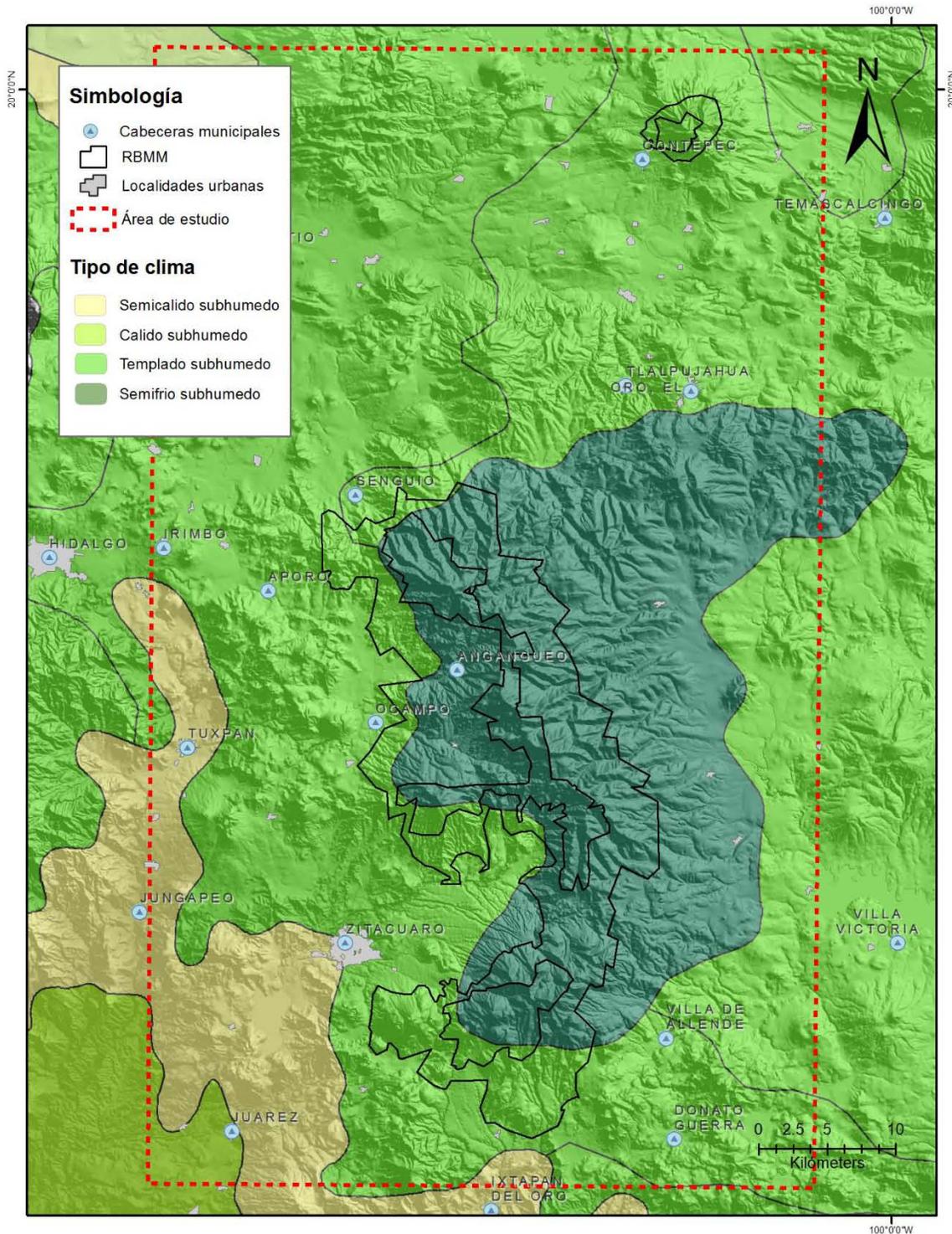


Figura 5. Clima (Fuente: Conjunto de datos vectoriales INEGI, 2010)

Los principales tipos de suelo en el área en estudio son el resultado de material parental, constituido por rocas volcánicas (andesitas y tobas) y el resultado de procesos de intemperismo sobre estas rocas. Entre los diferentes tipos de suelo están el andosol, acrisol órtico, litosol, luvisol y regosol eutrítico. Actualmente no existen unidades de suelo específicas sino la dominancia de las asociaciones de los suelos antes mencionadas (Vázquez-Quintana, 2012).

La vegetación (*Figura 6*) presente en la reserva es el resultado de la convergencia de elementos florísticos de la región del Holártico y Neotropical que forman parte de la Región Mesoamericana de Montaña. Entre las principales comunidades vegetales situadas dentro de la reserva están representadas en su mayoría por los bosques de coníferas con 12 especies entre las que destacan oyamel, encino y pino. Entre la flora de la reserva se han registrado 423 especies que incluyen 32 taxa infraespecíficos, agrupados en 244 géneros y 87 familias (Cornejo, Casas, Farfán, Villaseñor, & Ibarra, 2003).

Bosque de oyamel. Comunidades de *Abies religiosa* que se distribuye a partir de los 2,900 m y 3,000 m de altitud y constituye el hábitat típico de la mariposa monarca. Se desarrolla sobre los sistemas montañosos que integran la Sierra Chincua, Campanario–Rancho Grande y Chivati-Huacal, que presentan un microclima frío-subhúmedo. Los bosques de oyamel con vegetación secundaria corresponden a zonas perturbadas en las que se favorece el desarrollo de vegetación arbustiva representada por los géneros *Juniperus*, *Senecio*, *Eupatorium* y *Archibaccharis*, entre otros.

Bosque de encino con vegetación secundaria. Las áreas de la reserva que se encuentran cubiertas por bosque de encino con vegetación secundaria son consecuencia de la sucesión del bosque de oyamel, que por acción de diversos factores de perturbación ha desaparecido, dando lugar al desarrollo de encinares en los que predominan *Quercus laurina*, *Clethra mexicana*, *Salix paradoxa*, *Buddleia cordata* y *Buddleia parviflora*, entre otras.

Bosque de pino–encino. En la reserva el bosque de pino-encino se distribuye en el piso altitudinal comprendido entre los 2,400 m y 3,000 m de altitud. Se desarrollan generalmente sobre relieves montañosos con pendientes suaves y moderadas. Las especies dominantes son *Pinus pseudostrobus*, *Pinus rudis*, *Quercus laurina* y *Quercus rugosa*.

La riqueza biológica es particularmente abundante en el área en estudio, se han registrado un total de 132 especies de aves, 56 de mamíferos, 13 especies de anfibios, 19 de reptiles, 432 de plantas vasculares y 211 de hongos (CONANP_b, 2001; Garduño, 2011; Sánchez-Núñez, 2007).

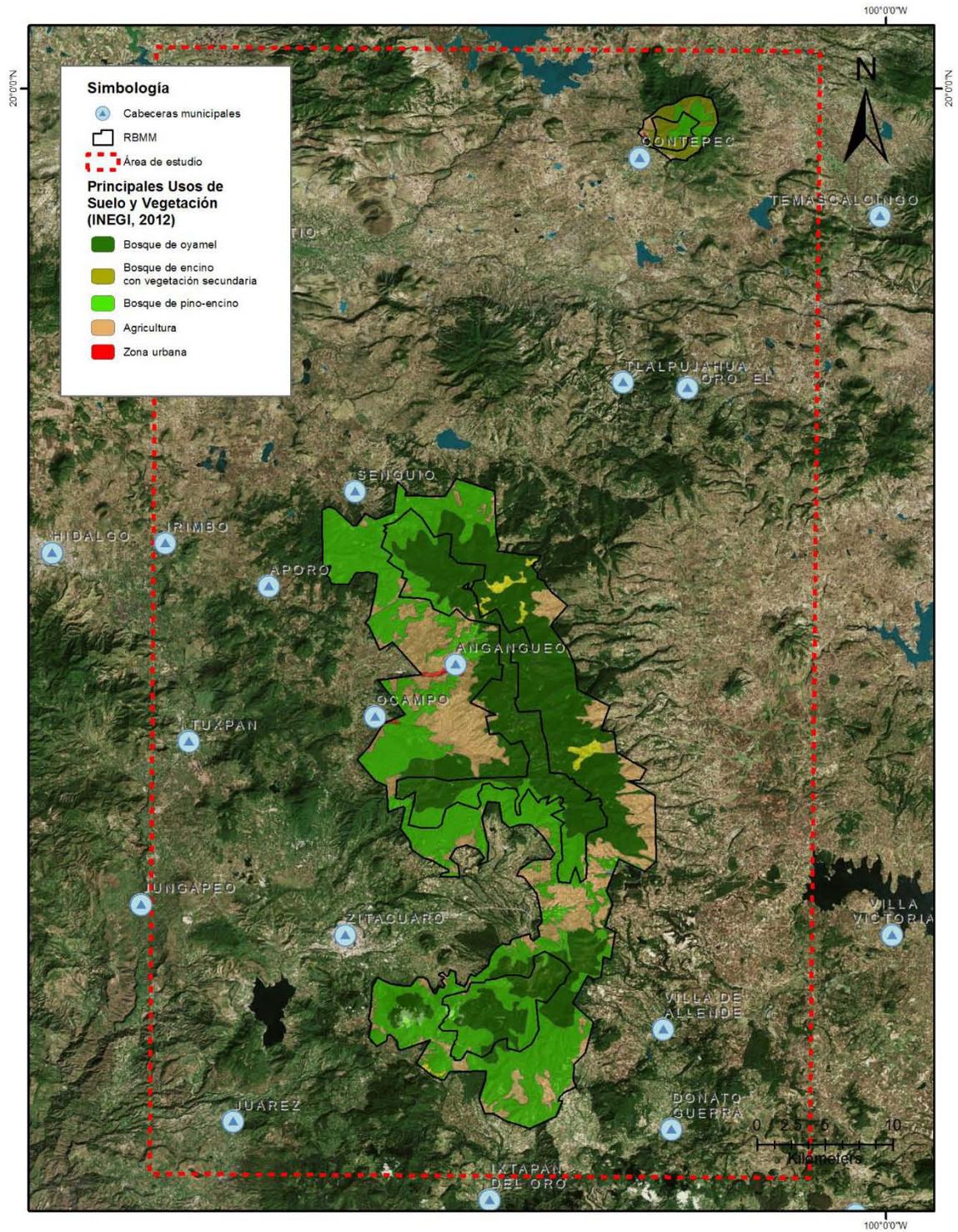


Figura 6. Cobertura de la vegetación 2005 (INEGI, 2012)

IV.2 Servicios ambientales

IV.2.1 Conceptos fundamentales.

Servicio natural o servicio ambiental es un beneficio que recibe el hombre de la naturaleza, generando un bienestar. Estos beneficios pueden ser utilizados de manera natural o por medio del manejo sustentable, a nivel local, regional o global. El concepto de Servicio Ambiental es relativamente nuevo y su origen fue orientado a valorar los ecosistemas (Lovinis, Lovinis, & Hawken, 1999; CONAFOR, 2011). Actualmente no existe una única definición de Servicio Ambiental, pero el uso de este término ha generado que muchos lugares se estén organizando acuerdos ambientales para que las personas y comunidades cuiden estos servicios, y reciban un pago por el cuidado de los servicios ambientales de aquellas personas que no están directamente relacionadas con el cuidado del ecosistema.

Ecosistemas del Milenio y su evaluación ha determinado cuatro categorías para esos beneficios ambientales (Hassan, Scholes, & Neville, 2005):

- I. **Servicios de provisión:** Son productos o bienes concretos que ofrecen los ecosistemas y que tienen un mercado conocido. Por ejemplo: comida (mariscos, animales de caza, cultivos, hierbas y especias), agua dulce, leña, fibras, productos farmacéuticos y energía (hidroeléctrica y biomasa).
- II. **Servicios de regulación:** Son servicios que ofrecen los ecosistemas y que regulan sistemas naturales como, por ejemplo, el clima, las inundaciones, las

enfermedades causadas por insectos, la purificación del agua y aire, secuestro de carbono, la polinización y el control biológico entre especies.

III. **Servicios de soporte:** Son servicios necesarios para que un ecosistema siga siendo útil, es decir, siga ofreciendo recursos como, por ejemplo, suelos productivos, biodiversidad, agua suficiente y de buena calidad.

IV. **Servicios culturales:** Son servicios no materiales que el hombre recibe de los ecosistemas y lo enriquecen espiritualmente, por ejemplo, conocimiento sobre plantas medicinales, recreación, ecoturismo, disfrute del paisaje, inspiración cultural, espiritual e intelectual.

Los servicios ambientales provienen de los ecosistemas. Los bosques son un ecosistema que incluye una gran fuente de servicios ambientales de provisión, regulación, soporte y culturales. A estos servicios se les ha considerado servicios ambientales forestales, al tener un importante aporte en la provisión del agua, conservación de la biodiversidad y suelos.

IV.2.2 Servicios ambientales forestales.

Los bosques desempeñan un papel vital para la economía, en la industria forestal representan un alto porcentaje de empleos directos e indirectos. Al mismo tiempo, los bosques cumplen funciones vitales para los ecosistemas y a estos beneficios no maderables se les conoce como Servicios Ambientales Forestales (SAF) (*Figura 7*).



Figura 7. Servicios Ambientales Forestales (<http://www.metsa.fi>)

Los Servicios Ambientales del Bosque, son los beneficios que la gente recibe de los diferentes ecosistemas forestales. Los bosques proporcionan una gama completa de productos y servicios que son vitales para la salud, y los medios de vida (Soussan, Sherestha, & Uprety, 1995; Brauman, et al. 2007). Entre la serie de componentes de la amplia gama de los servicios ambientales que proporcionan los bosques están:

- Regulación de los regímenes hídricos mediante la interceptación de la precipitación y la regulación de su caudal a través del sistema hidrológico.
- Captación, infiltración y provisión del agua de calidad y en cantidad suficiente.
- Mantenimiento de la calidad del suelo y la provisión de materiales orgánicos a través de la hojarasca.

-
- Limitación de la erosión y la protección del suelo del impacto directo de la lluvia.
 - Modulación del clima y mitigación de los efectos del cambio climático.
 - Ser componentes clave de la biodiversidad, tanto en sí mismos y como hábitat para otras especies.
 - Belleza escénica.

Indudablemente los bosques son muy importantes para las sociedades, por lo que fomentar la conciencia sobre la relación que existe entre los recursos naturales y la sociedad es importante para tomar decisiones que favorezcan la conservación y el desarrollo sustentable de ecosistemas forestales. En muchas partes del mundo existe infravaloración de nuestros bosques lo que cada vez los hace más susceptibles a las presiones de desarrollo y conversión. Actualmente el principal desafío para la gestión forestal es encontrar formas de continuar beneficiándose de los servicios ambientales forestales sin comprometer la capacidad del bosque para prestar sus servicios.

IV.2.3 Servicios ambientales hidrológicos.

Los Servicios Ambientales Hidrológicos (SAH) son los que van desde el suministro de agua para uso doméstico hasta la mitigación de los daños por inundaciones. Actualmente las personas dependen de los ecosistemas para suministrar grandes cantidades de agua para diferentes actividades. Los SAH incluyen los beneficios obtenidos del ecosistema para tener agua dulce (Brauman, et al. 2007).

Actualmente los SAH están organizados en cinco categorías (*Cuadro 1*): mejora del abastecimiento agua de extracción, mejora en el abastecimiento del agua en la corriente, mitigación de daños por el agua, suministro de agua relacionado con los servicios culturales y asociación del agua a servicios de apoyo. El suministro de agua es un servicio de aprovisionamiento que genera una modificación de los ecosistemas al extraer el agua de manera *in situ*. El uso de agua extractivo se incluye para usos agrícolas, comerciales, industriales, y termoeléctricos en el uso de energía. El uso en el lugar incluye la energía hidroeléctrica generada, formación del agua, transporte, así como la producción de peces de agua dulce (Brauman, *et al.* 2007).

La mitigación de daños por agua es un servicio de regulación, el cual incluye la mitigación de los daños a los ecosistemas por inundaciones, sedimentación de los cuerpos de agua, intrusión de agua salada a las aguas subterráneas y salinización de las tierras áridas. Los servicios hidrológicos culturales incluyen los usos espirituales, apreciación estética y el turismo. Los servicios de apoyo relacionados con el agua para los ecosistemas, son muy variados e incluyen la provisión de agua

para crecimiento de las plantas y el crear hábitats para los organismos acuáticos (Brauman, et al. 2007).

Cuadro 1. Relación de los procesos ecosistémicos hidrológicos a los servicios hidrológicos. Cada servicio tiene los atributos de cantidad, calidad, ubicación y tiempo de flujo (Brauman, et al., 2007).

Proceso ecohidrológico (lo que hace el ecosistema)	Atributo hidrológico (efecto directo del ecosistema)	Servicio hidrológico (lo que recibe el beneficiario)
Interacciones climáticas locales	Cantidad	Suministro de agua desviada: (local, municipal, agrícola, comercial e industrial)
El uso del agua por las plantas	(superficiales y subterráneas de almacenamiento y flujo)	
Filtración ambiental	Calidad	El suministro de agua in situ: Agua para la energía hidroeléctrica, recreación, transporte, suministro de pescado y otros productos de agua dulce
Estabilización de suelos	(patógenos, nutrientes, salinidad y sedimentos)	
Actividad química y biológica (sustracción y adición)		
Desarrollo del suelo	Ubicación (tierra/superficie, arriba / abajo, dentro / fuera del canal)	Mitigación de daños por agua: reducción de daños por inundaciones, salinización de las tierras secas, la intrusión de agua salada, la sedimentación)
Modificación de la superficie terrestre		
Alteración de la trayectoria del flujo en la superficie		
Desarrollo de las orillas de los ríos		Espiritual y estético: valores educativos, turísticos y religiosos
Control de la velocidad del flujo	Tiempo	
Almacenamiento de agua a corto y largo plazo	(flujos, y velocidad)	
Estacionalidad del consumo de agua.		

Apoyo:

El agua y nutrientes para apoyar a estuarios vitales y otros hábitats y opciones de preservación.

IV.2.4 Esquema del pago por servicios ambientales.

Los beneficios directos e indirectos de los servicios ambientales provistos, la biodiversidad y los ecosistemas son reconocidos por su importancia principalmente en países desarrollados y más recientemente en países en vías de desarrollo, al depender de ellos para vivir. Debido a esto se han desarrollado estrategias para conservarlos en el tiempo, de modo que una de ellas ha sido el intento de comercializar los servicios ambientales. Esto ha sido la principal razón para establecer mecanismos de Pago por Servicios Ambientales (PSA).

El término de pago hace referencia a una actividad relacionada con un mercado en el que una parte retribuye a la otra con una cierta cantidad en dinero o en especie por la adquisición de bienes y servicios. Los PSA implican la realización de un acuerdo voluntario entre proveedores y beneficiarios. En los que comunidades locales son provistas con incentivos económicos en actividades de conservación (Wunder, 2006; Martínez, 2008).

De acuerdo con Wunder (2006) los Pagos por Servicios Ambientales se refieren a una transacción voluntaria, donde un SA bien definido (o un uso de la tierra que aseguraría ese servicios) es comprado por al menos un comprador de SA, a por lo

menos un proveedor de SA sólo si el proveedor asegura la provisión del SA tratado (condicionamiento) (Martínez, 2008).

En otro caso propuesto por Swallow (2007), los PSA deben ser llamados Compensaciones y Recompensas por Servicios Ambientales (CRES por sus siglas en inglés). Estas recompensas son otorgadas por entidades que se benefician de la provisión de SA, o por representantes de estas entidades. Para esto las recompensas por los SA son mecanismo de mercado, pagos e incentivos que retribuyen los actores que conservan y restauran los servicios de regulación, soporte y culturales que llegan a proveer los ecosistemas (Martínez, 2008).

IV.2.5 Pago por servicios ambientales en México.

Actualmente en México el crecimiento poblacional y el cambio de uso de suelo en los últimos años ha provocado un grave impacto ambiental en los ecosistemas, como por ejemplo el deterioro del aire, la contaminación del agua, la desertización del suelo y la pérdida de la diversidad biológica y el desequilibrio de los ciclos naturales. La conversión de los ecosistemas naturales para atender las necesidades antropogénicas, para obtener bienes y servicios, ha provocado la reducción en la provisión de otros servicios de igual importancia como son la provisión de agua, desertización del suelo, pérdida de la biodiversidad y contaminación (Sarukhán, 2009; Perevochtchikova & Ochoa, 2012). Actividades como la deforestación es la principal causa que conlleva a la modificación y a la desaparición parcial o total de ecosistemas, así como a la degradación de sus funciones y los servicios ambientales (FAO, 2006; FAO, 2007).

Actualmente las áreas forestales que se pierden en México (*Cuadro 2*) cada año de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, se sitúan en 200 y 1,5 millones de hectáreas anuales (CONAFOR, 2011). Esto ha generado que el sector forestal se degrade y ocasione la pérdida de la funcionalidad del ecosistema; debido a la poca competitividad de la industria forestal a escala internacional; la inversión insuficiente y el mal uso de los recursos y por último pero no menos importante los incipientes desarrollos a los mercados de los servicios ambientales (SEMARNATc, 2006; CONAFOR, 2001; Perevochtchikova & Ochoa, 2012).

Cuadro 2. Principales causas de la deforestación en México (SEMARNAT, 2006a, 2006b; CONAGUA, 2007; Perevochtchikova y Ochoa M, 2012).

Causa	Factor	Consecuencias
Cambio de uso de suelo.	Crecimiento demográfico, expansión urbana, demanda de recursos naturales, políticas a favor de la producción agropecuaria y ganadera.	Alto índice de incendios forestales.
Tala ilegal del bosque y sobre-explotación de los recursos forestales.	Pobreza y desempleo.	Erosión y degradación del suelo.
Plagas y enfermedades de la vegetación.	Introducción de especies invasoras, cambio climático.	Escasa infiltración del agua y el cambio de patrones del ciclo del agua.
Incendios forestales.	Antropogénico y natural.	Deterioro y la pérdida del hábitat natural y de especies endémicas por especies invasoras. Impactos socio-económicos (pobreza, inequidad en el acceso a

		recursos naturales, migración entre otras).
--	--	--

A causa de las problemáticas de la deforestación, se han implementado programas y acciones de política pública ambiental a nivel federal para reducir la pérdida de la vegetación. Con el propósito de proteger la cobertura forestal y los Servicios Ambientales Forestales e Hidrológicos; se creó desde el año 2003 el programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) y el Programa para Desarrollar el Mercado de Servicios Ambientales por Captura de Carbono y los Derivados de la Biodiversidad y para Fomentar el Establecimiento y Mejoramiento de Sistemas Agroforestales (PSA-CABSA) en 2004. Actualmente estos dos programas se unieron y se llaman Servicios Ambientales y forman parte del programa ProÁrbol (CONAFOR, 2011)

El PSA se aplicó a 15 Áreas Naturales Protegidas (ANP), mientras que para el 2008 las áreas llegaron a ser 50 (*Cuadro 3*). En ellos se otorgan pagos directos a los propietarios y poseedores de terrenos cubiertos por bosques y selvas en buen estado de conservación, con el fin de vigilar las áreas, evitar la tala ilegal, cacería desregulada, incendios forestales, así como diversas actividades que puedan afectar los ecosistemas forestales (CONANP_a, 2010; Macip-Ríos & Macip, 2013).

Cuadro 3. ANP que participaron en programa PSA 2003-2008 por región (Fuente: (CONANP_a, 2010).

Nombre Regional	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Centro y Eje Neovolcánico	5	10	8	8	14	10
Frontera Sur, Istmo y Pacífico Sur	0	7	7	2	5	7
Noreste y Sierra Madre Oriental	1	2	3	3	8	4
Noroeste y Alto Golfo de California	0	1	0	1	3	3
Norte y Sierra Madre Occidental	2	3	2	0	3	4
Occidente y Pacífico Centro	4	10	6	6	7	8
Península de Baja California y Pacífico Norte	1	2	1	1	4	2
Península de Yucatán y Caribe Mexicano	0	2	0	3	4	4
Planicie Costera y Golfo de México	2	5	4	3	7	8
Total	15	42	31	27	55	50

IV.2.6 Pago por servicios ambientales en la RBMM.

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca es una de estas Áreas Naturales Protegidas que recibe el PSA. Esta reserva tiene una superficie de 56, 256 ha en las que se encuentran grandes extensiones forestales constituidas principalmente por bosques de oyamel, pino y encino. Estas coberturas forestales también forman bosques mixtos que ofrecen una gran diversidad de servicios ambientales.

El área en estudio está integrada por 93 núcleos agrarios conformados por 59 ejidos, 13 comunidades indígenas de origen Mazahua y Otomí y 21 pequeñas

propiedades. La mayoría de los habitantes de los ejidos y comunidades indígenas de la reserva sufren de marginación y pobreza, lo que ha originado que se modifique la cobertura forestal en dicha área (López-García, 2007). En la reserva existe una fuerte tradición por la explotación forestal y transformación de la madera para muebles, construcción de cajas de empaque, ya que la mayoría de los habitantes se dedican a la agricultura.

El decreto de dicha Área Natural Protegida en el año 2000 originó el cierre de las principales fuentes de empleo regional. Este fue el caso de una minería que tenía 39 concesiones para extraer zinc cerca de la reserva, además de viveros frutícolas ofrecían cerca de 1,170 empleos (CONANP_b, 2001). Para combatir el desempleo y apoyar a los propietarios que cedieron sus derechos de aprovechamiento forestal en ese mismo año se creó un fondo Patrimonial integrado por 6.5 millones de dólares con la finalidad de asegurar la conservación de la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, el cual más tarde sería llamado Fondo Monarca (FM), este es manejado por el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A. C. (FMCN) y para el Fondo Mundial para la Conservación de la Naturaleza (WWF), con el apoyo económico de la Fundación David and Lucile Packard, la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) y los gobiernos del Estado de México y Michoacán (CONAFOR, 2011; CONANP_b, 2001).

Del año 2000 al 2009 el Fondo Monarca apoyó a los dueños de bosques con un monto de 26 millones de pesos, lo que ha beneficiado la reducción de la pérdida de la cobertura forestal y ha fortalecido la participación de las comunidades en tareas

de conservación y restauración de la reserva a través del modelo de PSA. En el segundo periodo que va de 2009 a 2018, la CONAFOR se sumó al esfuerzo de conservación mediante la creación de mecanismos locales de PSA en el que la suma de los apoyos será de 61 millones de pesos. Este PSA en la reserva cubre la zona núcleo de la RBMM en el cual sólo se benefician actualmente 34 de 38 predios lo que corresponde a 9,928 hectáreas dejando descuidadas 46,326 hectáreas de zona de amortiguamiento con igual importancia por sus servicios ambientales forestales (CONAFOR, 2011).

Muy recientemente la RBMM recibe otro PSA derivado del Sistema Hídrico Cutzamala, en el que participan municipios del estado de México y Michoacán y que forman parte de la zona núcleo y zona de amortiguamiento de la reserva. Los escurrimientos naturales que se originan son tributarios del sistema Cutzamala y de acuerdo con la Comisión Nacional de Agua se reconoce que este sistema hídrico es la única fuente de agua sustentable para el abastecimiento de la zona metropolitana de la Ciudad de México y el valle de México (Calderón, 2013).

El monitoreo de la cobertura forestal que es la principal herramienta para asignar el PSA en la reserva y principalmente el monitoreo del año 2010 realizado por Fondo Monarca, observó una importante reducción de la deforestación en la zona núcleo (Figura 8). Esto permite asegurar la sobrevivencia de diversas especies, el mantenimiento de procesos como recarga de agua en la partes altas del sistema Cutzamala, además de ser el sitio de hibernación de la mariposa monarca (CONAFOR, 2011).

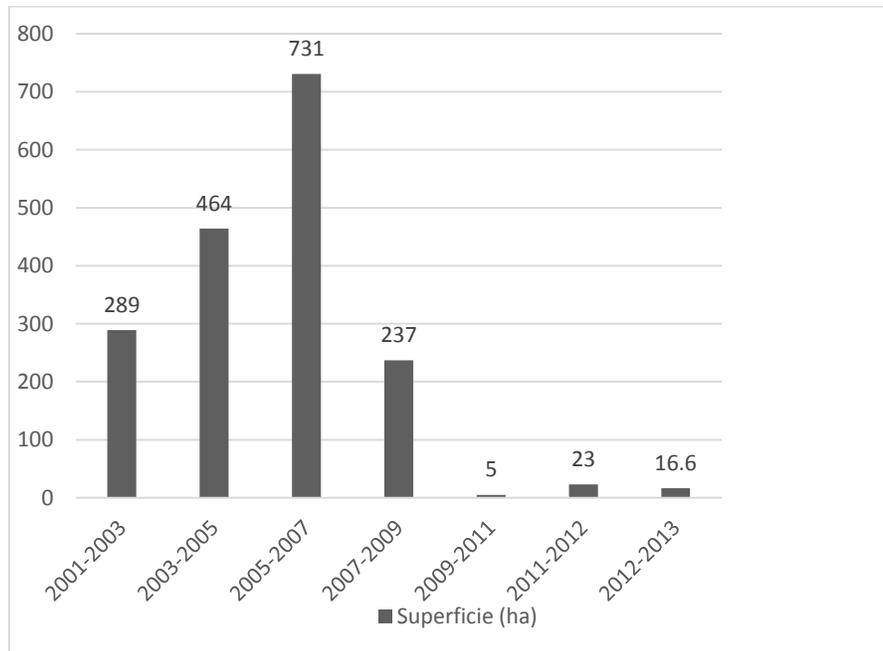


Figura 8. Deforestación en la zona núcleo de la Reserva Monarca (WWF México, 2013).

La evaluación de los trabajos de conservación y de no aprovechamiento de la RBMM se ha generado por dos instrumentos técnicos (monitoreo ambiental y social), que se requieren para tomar la decisión que permite a los ejidatarios participar y obtener los fondos por el PSA. La asignación de los pagos se ha decidido a partir del cumplimiento de las obligaciones de conservación pactadas en los convenios de adhesión firmados con cada uno de los núcleos agrarios (Gerencia de Servicios Ambientales del Bosque de la Conafor, 2013).

La primera parte incluye el monitoreo de la cobertura forestal, para conocer los cambios anuales en la zona núcleo, mediante la interpretación de fotografías aéreas digitales de alta resolución. El análisis fue realizado a partir de la interpretación comparativa de fotografías aéreas del año anterior y el presente (2012-2013) a escala 1:10,000. Los resultados en caso de haber pérdida de la cobertura forestal

son confirmados con recorridos en campo por personal de la Dirección de la RBMM, WWF, autoridades agrarias, CONAFOR, el Instituto de Geografía de la UNAM y el Fondo Monarca. La pérdida de la cobertura forestal se clasifica en el porcentaje de los estratos en cada ejido, comunidad indígena y pequeñas propiedades de la zona núcleo (Gerencia de Servicios Ambientales del Bosque de la Conafor, 2013).

El monitoreo social es la segunda etapa para la asignación del PSA por parte del FM, el cual consiste en un sistema de apoyo a las decisiones (SAD) multicriterio, que ha permitido evaluar y priorizar las acciones de conservación y restauración que realizan los ejidos y comunidades en la zona núcleo dado las condiciones, ambientales, económicas y sociales (García-Serrano, 2007). Este monitoreo consiste en indicadores para medir el desempeño de los ejidos entorno a sus actividades de conservación, protección y restauración (CONAFOR, 2013).

El monitoreo forestal y el social conjuntamente son herramientas que permiten evaluar el desempeño de las acciones de conservación, mediante evidencias cuantitativas y cualitativas para así cancelar, condicionar o aprobar el pago anual por SA (CONAFOR, 2013).

IV.3 Anfibios: indicadores faunísticos de la conservación de los ecosistemas

IV.3.1 Indicadores ambientales.

El uso de indicadores para actividades que involucran decisiones es muy frecuente. Un indicador da a entender o significar una cosa con indicios o señales. La información clave que usamos para conocer algo y frecuentemente tomar una decisión es un indicador. Los indicadores son herramientas y por ello identificar de manera más adecuada los indicadores del entorno es fundamental para tomar las mejores decisiones. Una elección incorrecta de la información puede ocasionar interpretaciones y acciones equivocadas (SNIA, 2008; SEMARNATd, 2014).

Los indicadores ambientales se han desarrollado para entender, describir y analizar distintos fenómenos como el clima, la pérdida de suelos y el riesgo de especies, entre otros. Actualmente no existe una definición única del concepto y este varía de acuerdo a los objetivos específicos que se persiguen. Entre las dos definiciones de indicador más utilizadas está la de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE,1998), la cual explica que un indicador es un parámetro o valor derivado de parámetros que proporciona información para describir el estado de un fenómeno, ambiente o área, con un significado que va más allá del directamente asociado con el valor del parámetro en sí mismo (SEMARNAT, 2014d). Otra definición es la del centro de Florida para la Gestión Pública, la cual dice que un indicador ambiental es un elemento que describe, analiza y presenta

información científicamente sustentada sobre las condiciones y tendencias ambientales y su significado (SEMARNAT, 2014d).

El Ministerio del Ambiente de Canadá define a los indicadores como una estadística o parámetro que, monitoreado a través del tiempo, proporciona información de la tendencia o las condiciones de un fenómeno más allá de la que se asocia a la estadística en sí misma. En este se hace referencia al ambiente, la sustentabilidad de los recursos naturales y su relación con las actividades humanas (Environment Canada, 2014).

IV.3.2 Funciones y características de los indicadores ambientales.

Los indicadores ambientales permiten básicamente simplificar el fenómeno o sistema de estudio, para también tener que cuantificar los cambios. Las principales características y criterios que tienen para la elección de los indicadores, es que deben ser sustentados científicamente, de fácil comprensión, sensibles a los cambios que se pretenden medir y tener una disponibilidad de información y datos.

Una de las funciones principales de los indicadores ambientales de acuerdo con la OCDE (1998) es que deben de reducir el número de medidas y parámetros que normalmente se requiere para ofrecer una presentación más cercana posible a la realidad de una situación y por último simplificar los procesos de comunicación.

El uso de los indicadores se ha visto a nivel internacional, nacional, regional, estatal y local para diversos fines, entre los que destacan: servir como herramientas para informar sobre el estado del medio ambiente. Para que los indicadores cumplan

cabalmente con sus funciones se han enumerado un total de 12 características (OCDE, Environmental Indicators, 1998; INEGI y SEMARNAP, 2000).

1. Ofrecer una visión de las condiciones ambientales, presiones ambientales y respuestas de la sociedad o gobierno.
2. Ser sencillos, fáciles de interpretar y capaces de mostrar las tendencias a través del tiempo.
3. Responder a cambios en el ambiente y las actividades humanas relacionadas.
4. Proporcionar una base para las comparaciones internacionales (cuando sea necesario).
5. Ser aplicables a escala nacional o regional, según sea el caso.
6. De preferencia, tener un valor con el cual puedan ser comparados.
7. Estar teórica y científicamente bien fundamentados.
8. Estar basados en consensos internacionales.
9. Ser capaces de relacionarse con modelos económicos y/o de desarrollo, así como con sistemas de información.
10. Estar disponibles con una razonable relación costo/beneficio.
11. Estar bien documentados y gozar de calidad reconocida.
12. Ser actualizados a intervalos regulares con procedimientos confiables.

El Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA, 2008), tiene como objeto proporcionar a los tomadores de decisiones y público en general la información clave sobre el estado del ambiente y de los recursos naturales del país. Esto lo hacen por medio de 14 indicadores ambientales que son útiles para evaluar los

avances en materia de conservación y uso sustentable del medio ambiente y los recursos naturales en el país. Esta iniciativa es resultado de la cooperación técnica entre los gobiernos de México (SEMARNAT) y Alemania (GTZ) en el marco del programa de “Gestión Ambiental y Uso Sustentable de los Recursos Naturales” (SEMARNAT, 2014d).

Entre los principales indicadores ambientales está la vegetación natural, que es el principal reservorio de la biodiversidad. El desarrollo de actividades productivas (agricultura y ganadería), el crecimiento de la infraestructura y el desarrollo urbano, han reducido la vegetación natural remanente en México y el mundo. La disminución de esta superficie conlleva necesariamente a la degradación ambiental y a la pérdida de biodiversidad y de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas naturales. Por otro lado, también están las especies en riesgo que representan la reducción actual o potencial de la biodiversidad de un país o región. Los listados de especies en riesgo han sido empleados como indicadores del estado de la biodiversidad por los gobiernos de muchas naciones y por organizaciones internacionales. El porcentaje de especies en riesgo, para ciertos grupos taxonómicos, es útil como indicador del estado de la biodiversidad nacional, actualmente las principales especies en riesgo son anfibios, reptiles, mamíferos y aves (SNIA, 2008; SEMARNAT, 2014d).

IV.3.3 Indicadores faunísticos.

La transformación de los ecosistemas, el crecimiento indiscriminado de la mancha urbana, la agricultura y la industria en las últimas décadas ha originado que expertos evaluadores en el ambiente, intenten desarrollar métodos para evaluar los recursos naturales mediante criterios objetivos, con el fin de que puedan ser útiles como base cuantitativa ante los distintos problemas de conservación (Hiraldo & Alonso, 1985).

Los principales criterios han sido la conservación de especies raras o en peligro de extinción, o de los medios especialmente frágiles, inclusive la protección de muestras representativas de los diferentes ecosistemas. La conservación de especies raras en un área determinada ha comprobado y garantizado el mantenimiento de un valor estimado global de conservación de dicha área, debido a que estas especies pueden tener una mayor sensibilidad a cambios o degradaciones del medio, y justifica la utilización de las mismas como especies indicadora del estado de conservación de zonas concretas (Hiraldo & Alonso, 1985).

Las especies indicadoras ideales deben ser aquellas que por sus características biológicas, nos permitan estimar cambios o atributos ecológicos de algún componente de la biodiversidad del sistema donde habitan (Isasi-Catalá, 2011). Contrariamente a los organismos que pueden tolerar diversas condiciones ambientales y cuyos patrones de distribución o abundancia sólo pueden ser afectados por variaciones sustanciales en la calidad ambiental, son indicadores pobres. Las especies indicadoras deben de tener las siguientes características en cuanto a tributos de historia de vida: un tamaño corporal pequeño y un tiempo generacional corto; en cuanto a los atributos ecológicos deben de tener una amplia

distribución y probablemente deben de ser especialistas de hábitat; deben de ser sensibles a las perturbaciones humanas, con una baja variabilidad (Hilty & Merenlender, 1999; Reinoso-Flores, 2008; Isasi-Catalá, 2011)

IV.3.4 Anfibios como indicadores de la salud de los ecosistemas.

Los anfibios son animales vertebrados que aparecieron hace 360 millones de años, en el periodo Devónico. Estos organismos evolucionaron de peces óseos (*Crossopterigios*) y actualmente se caracterizan por tener una piel desnuda, sin escamas, no tener uñas ni dientes y durante el desarrollo de su vida pasan por el fenómeno de la metamorfosis (*Figura 9*). En la mayoría de los anfibios, principalmente anuros y salamandras cuando son larvas, necesitan para su desarrollo de un hábitat acuático o con ciertas condiciones de humedad debido a que tienen una respiración cutánea (Brusca & Brusca, 2005; Kardong, 2007; Vitt & Caldwell, 2013).



Figura 9. Metamorfosis de los anuros (Fuente: Tim Hunt, meetyoumeighbours.net)

La asociación de los anfibios y el agua se debe principalmente a su piel la cual, al no tener mayores restricciones para el intercambio de agua y oxígeno, sufren más fácilmente de pérdida de ésta por evapotranspiración cuando las condiciones de humedad del ambiente disminuyen o existe algún tipo de contaminación. En el caso de la etapa larval, ésta es probablemente la etapa más susceptible a la degradación del medio acuático y terrestre incluyendo cambios en las temperaturas y precipitaciones (Lobos, et al. 2013).

Los anfibios que existen están representados por tres órdenes: *Gymnophiona* (cecilias), *Caudata* (salamandras) y *Anura* (ranas). Las cecilias, en su exterior, son parecidas a las lombrices de tierra, carecen totalmente de extremidades, tienen un cuerpo anillado y cabeza fuertemente osificada con una cola contundente lo que

refleja un estilo de vida de madriguera y fosorial. Las salamandras tienen cuerpos cilíndricos, largas colas, cabezas y cuellos distintos, sus extremidades están bien desarrolladas y ecológicamente son muy diversas. Estos organismos pueden ser totalmente acuáticos, terrestres y arbóreos viviendo en plantas epífitas en el dosel del bosque. Las ranas, a diferencia de los otros anfibios, tienen cuerpos sin cola y sus extremidades, cabeza y cuerpos están bien desarrolladas (Vitt & Caldwell, 2013).

Estos grupos han explotado con éxito los ambientes terrestres sin dejar de estar vinculados al agua o microhábitats húmedos para su reproducción. En ambientes secos o modificados la mayoría de ellos experimenta una rápida desecación (Vitt & Caldwell, 2013). Estos organismos ocupan una gran cantidad de hábitats acuáticos y terrestres a excepción de los océanos y regiones polares (Carrillo, 2008). La situación actual de las poblaciones de anfibios, es muy alarmante ya que están disminuyendo rápidamente especies, géneros, e incluso familias. Un tercio (32%) de las especies de anfibios en el mundo están amenazadas, aproximadamente 122 se han extinto desde 1980, y 43% de las especies están pasando por eventos de declive poblacional (Wake, 1991; Sá, 2005).

Parte de su importancia está en la cadena alimenticia, en la que forman parte como predador o como presa, lo que ayuda a sostener el delicado balance de la naturaleza. En su función de depredadores estos organismos ayudan a controlar plagas provocadas por insectos (*Artrópodos*), lo cual es importante en la reducción y propagación de enfermedades como el dengue (*Flavivirus sp.*), la fiebre amarilla (*Flavivirus amaril*) y el éxito de la agricultura (Carrillo, 2008).

La importancia de los anfibios en la salud de los ecosistemas y la calidad de los servicios ambientales hidrológicos recae en sus características biológicas. Estos son muy sensibles a las perturbaciones de los ecosistemas. Estos grupos son los mejores indicadores faunísticos, al ser las primeras especies en ser afectadas por situaciones ambientales estresantes; la disminución de sus poblaciones es el síntoma más evidente y esto es un indicador o advertencia. La piel de los anfibios es muy permeable, pues a través de ella toman agua y respiran. Esta característica desafortunadamente permite a los contaminantes ingresar más rápidamente a su cuerpo, lo que ha originado un declive de diversas especies (Marco, 2002; Carrillo, 2008). Los factores más involucrados en la declinación y extinción de poblaciones de anfibios son la destrucción de su hábitat, la contaminación, el cambio climático, las especies invasoras, la radiación ultravioleta y las enfermedades (Lobos, *et al.* 2013).

En México habitan cerca de 376 especies de anfibios, de las cuales 254 son endémicas (Parra-Olea, *et al.* 2014). Actualmente un 5.23% de las especies de anfibios del mundo están presentes en nuestro país, siendo el quinto más diverso (Flores–Vilella, 1993). El estado de Oaxaca (*Figura 10*) es el más diverso del país con un total de 140 especies conocidas. Le siguen los estados de Chiapas (100 especies) y Veracruz (96 especies). El área en estudio que se encuentra entre los estados de México y Michoacán, tiene un total de 34 y 44 especies de anfibios respectivamente, y específicamente la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, cuenta con seis especies de salamandras y siete de anuros; de estos, siete son

endémicos de México, cinco pertenecen al orden *Caudata* y dos al orden *Anura* (Sánchez-Núñez, 2007; Carbajal-Domínguez, 2012).

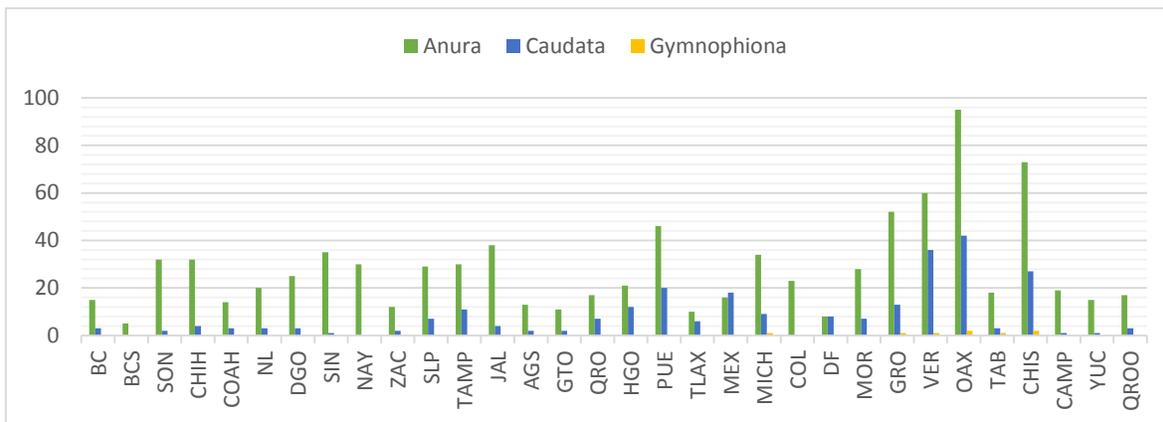


Figura 10. Número de especies de anfibios de México por estado de la república, Fuente: (Parra-Olea, Flores-Villela, & Mendoza-Almeralla, 2014)

Las principales amenazas que enfrentan estas especies en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (*Cuadro 4*) es, sin duda, la pérdida y modificación de su hábitat, cambio de uso de suelo y la contaminación de suelos, agua entre otras. Actualmente, la salamandra *Ambystoma rivulare* (Taylor, 1940) es la única especie que tiene un programa de monitoreo y protección, al estar dentro de los anfibios con mayor vulnerabilidad y peligro de extinción. Esta especie se localiza en cuerpos de agua lóticos con características muy particulares de temperatura, oxígeno disuelto y pH. El monitoreo de esta especie en la reserva (2005-2007), ha visto una baja en sus poblaciones derivado de las actividades humanas, y la presión que estas ejercen sobre los causes de agua (CONANP, 2007).

La familia *Plethodontidae* al igual que *A. rivulare* debe tener un plan de monitoreo para generar estrategias de conservación y manejo de las poblaciones silvestres debido a que habita en un ambiente con una alta presión de tala, quema, pastoreo, extracción de agua y extracción de leña a una tasa superior a la reposición natural (García-Vázquez, Gutiérrez-Mayén, Hernández-Jiménez, & Aurióles-López, 2006). En el caso de las familias *Ranidae*, *Hylidae* y *Leptodactylidae*, son organismos que dependen del agua durante su ciclo de vida, la pérdida del hábitat por extracción y contaminación de este recurso, genera una pérdida importante de la población, debido a sus características y su área de distribución muy limitada o en las que se asientan poblados y esto hace que simplemente no puedan sobrevivir (Lobos, *et al.* 2013).

Cuadro 4. Listado de las especies descritas en la RBMM (Fuente: Sánchez-Núñez, 2007 y Carbajal-Domínguez, 2012).

ORDEN	Familia	Especies	Autor
CAUDATA	<i>Ambystomatidae</i>	<i>Ambystoma rivulare</i>	Taylor, 1940
	<i>Plethodontidae</i>	<i>Pseudoeurycea bellii</i>	Gray, 1850
		<i>Pseudoeurycea cephalica</i>	Cope, 1865
		<i>Pseudoeurycea gigantea</i>	Taylor, 1939
		<i>Pseudoeurycea leprosa</i>	Cope, 1869
		<i>Pseudoeurycea longicauda</i>	Lynch, Wake & Yang, 1983
ANURA	<i>Craugastoridae</i>	<i>Craugastor augusti</i>	Dugés, 1879
		<i>Craugastor hobartsmithi</i>	Taylor, 1936
	<i>Hylidae</i>	<i>Hyla eximia</i>	Baird, 1854
		<i>Hyla plicata</i>	Brocchi, 1877
		<i>Plectrohyla binstincta</i>	Cope, 1877
	<i>Ranidae</i>	<i>Lithobates neovolcanicus</i>	Hillis and Frost, 1985
		<i>Lithobates spectabilis</i>	Hillis and Frost, 1985

IV.3.5 Atributos de los anfibios en la Reserva de la Biosfera

Mariposa Monarca como indicadores del estado de conservación de sus bosques.

El bosque y la presencia de los anfibios en la reserva, es un indicador de la calidad de los servicios ambientales y la perfecta funcionalidad de ecosistema. Por esto se debe de encontrar un equilibrio entre la gestión de las actividades antropogénicas, la gestión de la madera, el uso del agua y los requerimientos del hábitat de los anfibios. Las ranas y salamandras han sido documentadas en muchas investigaciones relacionadas con la conservación y la evaluación de los niveles de estrés de los ecosistemas, los cuales se han visto afectados por actividades negativas, relacionadas con la degradación de su hábitat, contaminación y explotación (Welsh & Ollivier, 1998; Moreno & Rodríguez, 2013).

Actualmente el género *Pseudoeurycea* presente en la reserva tiene atributos únicos que lo hacen un excelente indicador de la biodiversidad y la integridad del ecosistema en hábitats forestales. Entre las características de esta especie están su longevidad, sus territorios de tamaño pequeño, su fidelidad al sitio y su sensibilidad a las perturbaciones antropogénicas, que afectan la humedad, el microclima, alterando la biodiversidad forestal, y esto ha demostrado que afecta a las poblaciones de salamandras (Welsh & Droege, 2001). Un reciente estudio (Carbajal-Domínguez, 2012) en la RBMM indicó, que áreas sin una constante actividad antropogénica y alejadas de las localidades, se encuentra en un mejor estado de conservación debido a un alto número poblacional de este género a diferencia de un área con una constante actividad antropogénica.

En el caso de las salamandras acuáticas como *Ambystoma* se ha documentado muy poco acerca de su función como indicadores ambientales, los reportes obtenidos del monitoreo de esta especie han determinado que su población se ha reducido considerablemente en dos años (2005-2007) lo que podría estar asociado a la pérdida de la calidad de hábitat ocasionada por el efecto antropogénico, en el caso de salamandras de la familia *Plethodontidae* que habitan en corrientes acuáticas, han documentado que son buenos indicadores para evaluar la salud de dichas corrientes de agua y se les puede encontrar en abundancia y en diferentes estadios de desarrollo (Brent, Fritz, Blocksom, & Walters, 2009).

En el caso de los anfibios, principalmente la familia *Hylidae* y *Lithobatidae*, presentes en la reserva son organismos que tienen historias de vida bifásicas y experimentan un cambio ontogenético de hábitats acuáticos a terrestres. En paisajes deforestados, los arroyos y fragmentos de bosque frecuentemente están separados, lo que pone en riesgo el ciclo de vida de anfibios asociados al bosque cuyas larvas son acuáticas (Becker, Loyola, Haddad, & Zamudio, 2009). Actualmente, gran parte de las superficies donde se registró a estas ranas, son áreas de agricultura y pastizales, lo que puede originar un declive de estos anuros debido a que las actividades antropogénicas están invadiendo el territorio reproductivo de estas especies originando peligrosas migraciones a través de hábitats no forestales con un alto riesgo de desaparecer.

El uso de los anfibios como indicadores del estado de conservación y salud de los ecosistemas tanto forestales como hídricos representan una herramienta indispensable que se debe de incluir al momento de la evaluación de los Pagos por

Servicios Ambientales. La abundancia relativa de estos organismos en bosques conservados y en la presencia de corrientes hídricas es un buen indicador para evaluar aquellos núcleos agrarios que tienen o que pudieran tener un PSA. El muestreo de estos indicadores tiene un bajo costo de muestreo, obteniendo resultados para evaluar cambios ambientales positivos o negativos, relacionados a las áreas que mantienen PSA y otras que se deberían de considerar por su alta riqueza y abundancia relativa de anfibios.

V. MÉTODOS Y HERRAMIENTAS PARA DETERMINAR LAS ÁREAS APTAS PARA LOS SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS

V.1 Marco teórico.

Los métodos para identificar áreas prioritarias o críticas para la conservación deben de procurar mantener la biodiversidad así como preservar la funcionalidad de los ecosistemas de acuerdo a lo estipulado en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. La identificación de áreas aptas o prioritarias para la conservación de los ecosistemas, servirá para tomar mejores decisiones en función de las actividades que se realicen en los sitios más adecuados, sin afectar la funcionalidad de los servicios ambientales y sin disminuir la diversidad biológica existente (SEMARNAT, 2006a).

El mapa generado de las áreas aptas para los servicios ambientales hidrológicos se realizó mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG) e indicadores faunísticos. En la realización de este trabajo se definieron los elementos relevantes para identificar las áreas aptas, en las que se utilizó información de tipo biológica, información de tipo cartográfico, incorporación de variables físicas y biológicas para especies o grupos de especies (SEMARNAT, 2006a).

V.2 Anfibios como indicadores relevantes para la identificación de sitios prioritarios de conservación

De acuerdo con los objetivos del proyecto para generar un modelo de las áreas aptas para los Servicios Ambientales Hidrológicos, se eligió a los anfibios por sus características mencionadas en el capítulo dos, además de que son especies y grupos de los que se tiene un nivel de información adecuado sobre su ecología, biología y que pueden ser muestreados con relativa facilidad. Esto permitirá que el modelo sea robusto y que las variables ambientales que aparecen como significativas en el modelo, puedan considerarse como variables ecológicamente relevantes para las especies y se cumpla con el objetivo final del proyecto (SEMARNAT, 2006a)

Un segundo punto que se consideró para aproximarse a identificar los sitios prioritarios para la conservación de los servicios ambientales hidrológicos, es la riqueza total de anfibios en la reserva. Con ellos se puede determinar qué sitios contienen la mayor diversidad biológica, su categoría de amenaza de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010, si son endémicas, o consideradas especies raras o especies clave, ya que sus atributos son relevantes para el sistemas biológico o en la historia evolutiva del sitio (SEMARNAT, 2006a).

Una vez obtenidos los datos de riqueza de los anfibios y su estatus, el siguiente paso es medir las características ambientales de los sitios para determinar las variables ambientales que condicionan la distribución de este grupo para mostrar lo

esencial de la selección de hábitat o las características que son propicias para los anfibios.

V.3 Sistemas de información geográfica y la conservación de la diversidad biológica

Los sistemas de información geográfica (SIG) son un instrumento de carácter sistémico, que permiten manejar información muy variada y compleja, como enormes bases de datos para facilitar el análisis, obteniendo resultados en forma cartográfica y automatizada. Estos SIG consisten en un proceso de obtención, almacenamiento y análisis de datos, administración y modelamiento que permite generar información útil para la toma de decisiones (Moreira Muñoz, 1996).

El uso de los SIG se ha diversificado en una serie de aplicaciones como el inventario de recursos naturales y humanos, control y gestión de datos catastrales y de propiedad urbana y rural, planificación y gestión urbana, para el control de redes de transporte, abastecimiento y de servicios entre otras. La información contenida en un SIG se ha utilizado para la construcción de modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases digitales y utilizando una serie de procedimientos específicos.

En cuanto al uso de la conservación de la diversidad biológica, comunidades y ecosistemas se construye a partir de su localización y distribución en el espacio (Moreira Muñoz, 1996). Para poder realizar una conservación correcta de la diversidad biológica es necesario ubicar las áreas más ricas, las que contienen mayor diversidad, alto nivel de endemismo en los grupos biológicos y aquellas de

contienen especies que se encuentran en alguna categoría de protección especial, debido a que en la actualidad existen elevadas tasas de deforestación y cambio de uso de suelo, esto conlleva a la pérdida de importantes números de especies, así como de hábitats particulares y pérdida de la funcionalidad de los ecosistemas. La aplicación del SIG permite realizar análisis espaciales complejos, como el área máxima ocupada por una especie en distintas escalas temporales, el porcentaje de área superpuesto con la distribución de otra especie y el porcentaje del área ocupado por cada tipo de suelo. También se pueden realizar análisis de dependencia entre variables, como el número total de individuos o especies monitoreadas en un determinado rango altitudinal o unidad de vegetación, y los diferentes tipos de hábitat ocupados por una especie (Moreira Muñoz, 1996; SEMARNAT, 2006a).

Entre los principales estudios de conservación de la diversidad biológica y la aplicación de los SIG que se han registrado en América Latina está la evaluación del estado de conservación del hábitat del paujil de pico azul (*Crax alberti*) en Colombia. Mediante el uso de información cartográfica digital, para clasificar en ocho zonas definidas en el área en estudio y analizar las prioridades de conservación y recomendaciones para futuras aplicaciones de SIG como herramienta para la gestión de la conservación de especies amenazadas en dicho país (Molina y Barros, 2005). En México una de las principales aplicaciones de los SIG y en los estudios de caso, están la conservación y recuperación del lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*), mediante la detección de áreas potenciales para la reintroducción de la especie en México. Esto consistió en el uso del análisis espacial

utilizando el área de distribución histórica en el país para obtener el área de distribución histórica estable modelando el nicho ecológico de la especie y las amenazas que existen para esta especie (Martínez-Gutiérrez, 2007). En el caso de anfibios y reptiles se evaluó la distribución espacial de estos organismos en el Estado de México para determinar las regiones de mayor riqueza y diversidad para el estudio y conservación de la biodiversidad (Aguilar, *et al.* 2009).

V.3.1 Tipos de datos en un SIG.

La base de datos integrada en SIG permite el almacenamiento de gran cantidad de datos espaciales que representan variables muy diversas (*Figura 11*). Entre estos están relieve, suelo, vegetación, precipitación, pendiente, uso de suelo etc. Estos datos provienen de diferentes fuentes (cartografía, información sistemas de posicionamiento global (GPS), fotos aéreas, imágenes de satélite). Para poder realizar la integración de toda la información, los datos deben de ser locacionales, lo que se refiere a la localización y configuración de los elementos en términos de la relación lugar-posición. Estos son asignados por medio de coordenadas pares y representadas por medio de figuras geométricas. Los datos no locacionales son los elementos descriptivos que indican las características de las unidades espaciales (nombres, valores, estadísticas, referencias) (Galindo-Serrano, 2013).

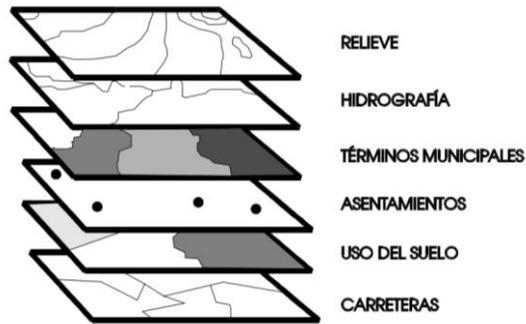


Figura 11. Capas de información en un SIG (<http://imsturex.unex.es>).

La información que se integra en el SIG está dividida en dos tipos (**Figura 12**). El primero es el formato vectorial, el cual define a objetos geométricos (puntos, líneas y polígonos) mediante la codificación explícita de sus coordenadas; este formato es el más usado para representar entidades reales ubicadas en el espacio (carreteras, ríos, parcelas de cultivo). Por otro, lado está el formato de datos raster que es un modelo de datos complementario al modelo vectorial; éste tiene como principal característica llevar a cabo una representación discreta del mundo real, empleando una malla de rejillas regulares que se denominan celdas o píxeles; cada pixel almacena un valor numérico que representa el valor determinado del mundo real (López-Lara, *et al.* 1998).

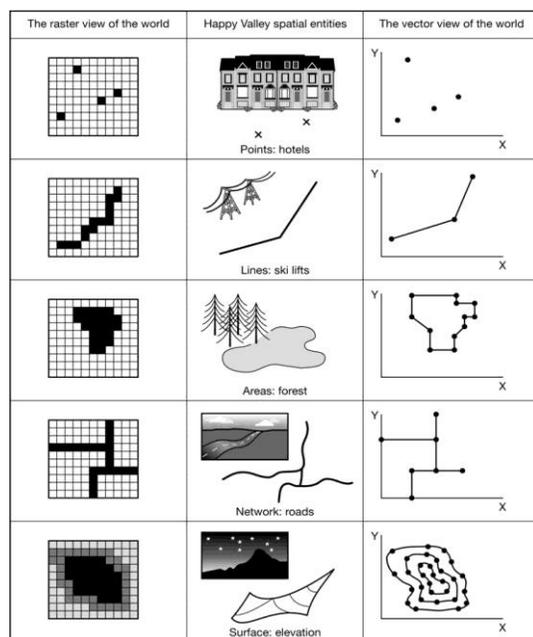


Figura 12. Capas de información en un SIG (<http://imsturex.unex.es>).

V.4 Determinación de la superficie a modelar

La superficie de la reserva está constituida por dos polígonos (*Figura 2*) el principal corresponde a la mayor superficie que es 54488.61 ha y el segundo a la ampliación de Altamirano con una superficie de 1770.43 ha. Por lo tanto, se consideró al polígono principal para generar los modelos de predicción de especies. Esto se debió a que el modelado de las especies, necesita una superficie continua y el polígono de Altamirano se encuentra aislado. En términos de conservación, las áreas grandes pueden mantener un mayor número de especies que varias pequeñas, lo que justifica el uso del polígono principal (Glowka, Burhenne-Guilmin, Syngé, McNeely, & Gündling, 1996). Posteriormente, los resultados se pueden interpolar al polígono de Altamirano, una vez establecido los criterios de conservación y de predicción de los anfibios. Lo que restaría hacer sería hacer una

propuesta de corredor biológico para que exista la conectividad entre el polígono principal y la ampliación de Altamirano, el cual encuentran a una distancia aproximada de 20 kilómetros, y así incrementar el movimiento de especies que se puedan sustentar (Schoenherr, Feldmeth, & Emerson, 2003).

V.5 Identificación de factores y selección de las capas

La evaluación y selección de las áreas aptas para los indicadores faunísticos tiene como objetivo principal la identificación de los factores ambientales que se correlacionan con la presencia de las especies (Horne, 2002). Se determinaron qué factores intervendrán en nuestro modelo para las áreas aptas para los SAH y posteriormente se obtendrían o generarían las capas de información geográfica (altitud, orientación de laderas, distancia a corrientes hídricas, distancia a localidades, tipo de vegetación, cobertura de la vegetación, pendiente y temperatura). Con ello finalmente obtener la superficie con mayor aptitud del hábitat, que representaría el área más importante para los SAH (Conroy & Moore, 2002; García, Cadena, & Simón, 2004).

V.5.1 Altitud.

La altitud es un factor que se correlaciona generalmente con la distribución y riqueza de las especies. Esta variable es particularmente importante al afectar la variación geográfica del clima o factores de hábitat. Generalmente para la representación de las muestras de cada una de las especies se agrupa por rangos altitudinales, y de acuerdo a la escala de la zona en estudio (Sillero, et al. 2008).

El mapa de la altitud fue generado con el uso del software ArcGis 10.1 y el Modelo Digital de Elevación (MDE) con una resolución de 15 m de INEGI. Este modelo es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo (INEGI, 2014). Posteriormente, se realizó el recorte del área en estudio y se redujo el número de píxel a 5 m, para poder realizar combinaciones con las demás capas de información geográfica (*Figura 13*).

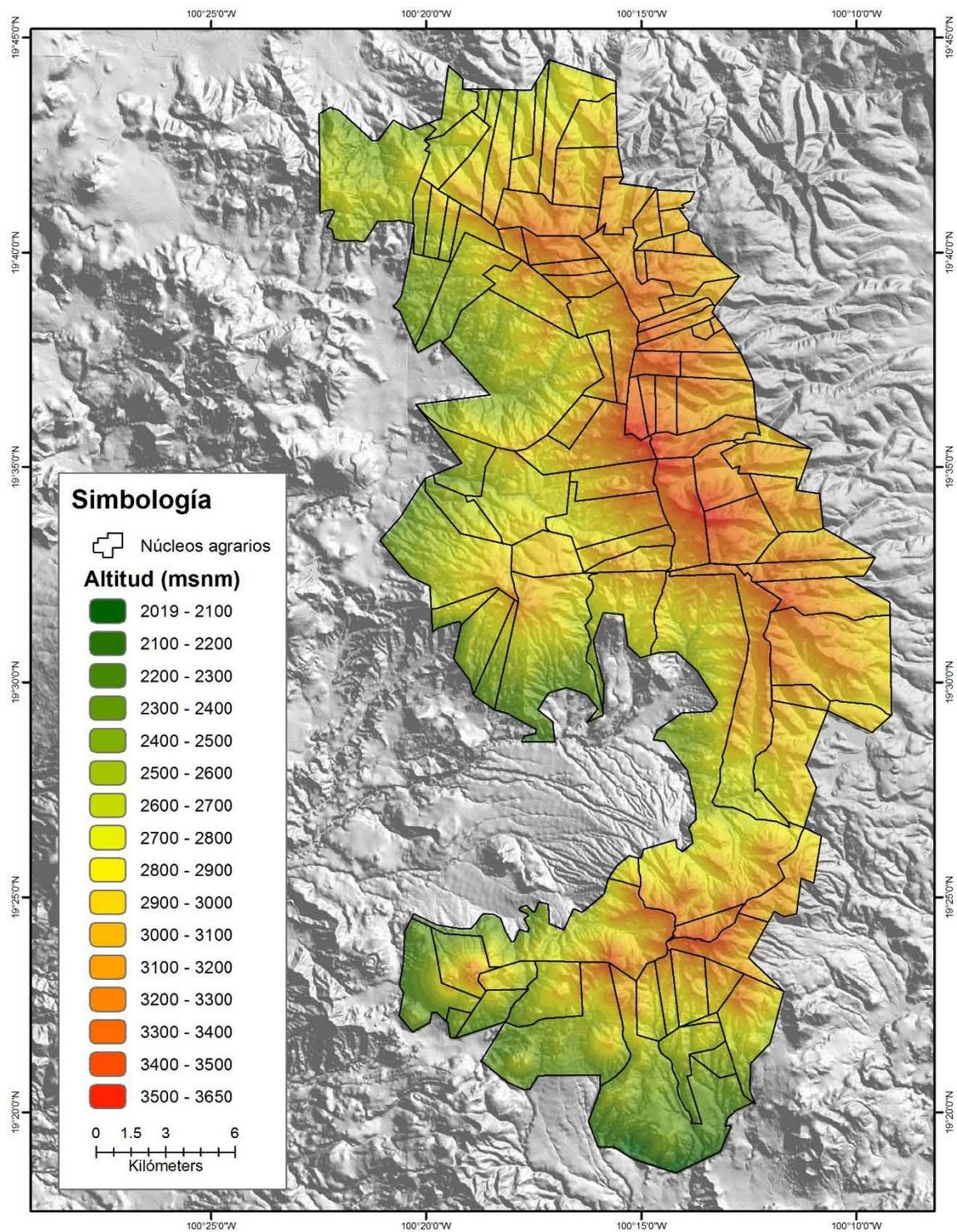


Figura 13. Mapa de altitud (Fuente: Conjunto de datos vectoriales INEGI, 2010).

V.5.2 Cobertura de la vegetación.

La cubierta forestal actualmente está pasando por un deterioro acelerado. Dicha cubierta puede cambiar por causas naturales, pero también por acciones humanas, en la mayoría de los casos. Las actividades antrópicas son consideradas las causas principales del aumento en los niveles de desertificación, deforestación, fragmentación del hábitat y pérdida de la biodiversidad (Dirzo & Noble, 1997; Durán-Medina, *et al.* 2007). La conservación de cobertura sin duda está asociada con la abundancia y riqueza de los indicadores faunísticos (Carbajal-Domínguez, 2012).

Para generar el mapa de la cobertura forestal del año 2012 de la RBMM, se utilizaron las fotografías aéreas de la zona núcleo y amortiguamiento del año 2010, las cuales fueron georreferenciadas para formar un mosaico de toda la reserva. Posteriormente a partir de la cobertura forestal del año 2003 en formato vectorial y en un Sistema de Información Geográfica, utilizando el mosaico perfectamente georreferenciado del año del 2010. Se hizo el análisis de fotointerpretación para comparar y actualizar, los cambios que han pasado en un lapso total de siete años, de 2003 (t_1) a 2010 (t_2) para así, generar y determinar las modificaciones correspondientes y actualización de la cobertura 2012 con las fotografías aéreas de ese año en una nueva capa vectorial (*Figura 14*). El etiquetado de los polígonos generados de cobertura se apoyó en los datos de la FAO y utilizando la clasificación modificada de López-García en 2011. El cuadro 5 muestra la clasificación obtenida para cada uno de los polígonos de la cobertura forestal 2012.

Cuadro 5. Leyenda de la clasificación de la cobertura forestal y uso de suelo.

Clave	Categoría	Porcentaje de Cobertura forestal
1	Cerrada	>75%
2	Semicerrada	51-75%
3	Semiabierta	26-50%
4	Abierta	11-25%
6	Deforestado	< 10%
7	Matorral	N/A
8	Agricultura	N/A
9	Pastizal	N/A
10	Infraestructura	N/A
11	Cuerpo de agua	N/A

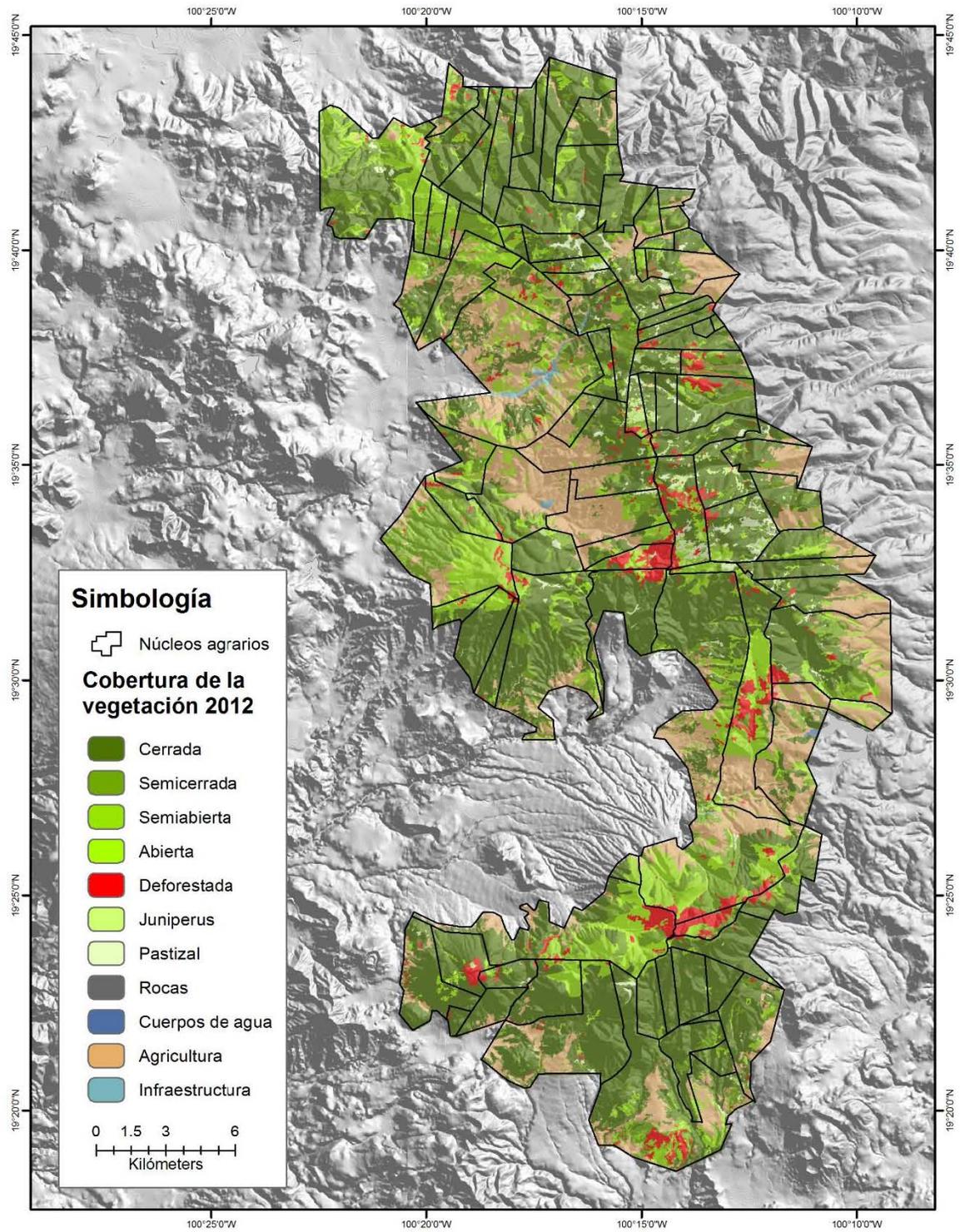


Figura 14. Mapa de la cobertura de la vegetación 2012.

V.5.3 Orientación de laderas.

La dirección de la ladera modifica las condiciones microclimáticas de los sitios, así como la presencia y la distribución de ciertas especies que estén asociadas con la humedad. En el hemisferio norte, las laderas con exposición sur reciben mayor radiación solar que sus contrapartes con orientación norte, las cuales son más húmedas (López-Gómez, *et al.* 2012). Los anfibios son organismos que sin duda dependen de esta variable al mostrar una notable respuesta a las variaciones ambientales de temperatura y humedad relativa. Tienen una piel desnuda y necesitan de fuentes de agua saludable o condiciones de alta humedad que son provista por su hábitat y la orientación de la ladera que éste tenga (Kirk & Lancelot-Hogben, 1946).

La capa de la dirección de la ladera se realizó de manera automatizada en el software ArcGis mediante el Modelo Digital del Terreno; los valores altimétricos de cada píxel son asignados por un valor de azimut (0° a 360°) y son agrupados en ocho categorías (N, NE, E, SE, S, SW, W y NW). Una vez obtenidos las categorías se genera una capa raster, que se reclasifica para que los píxeles agrupados en cada categoría tengan el mismo valor (*Figura 15*).

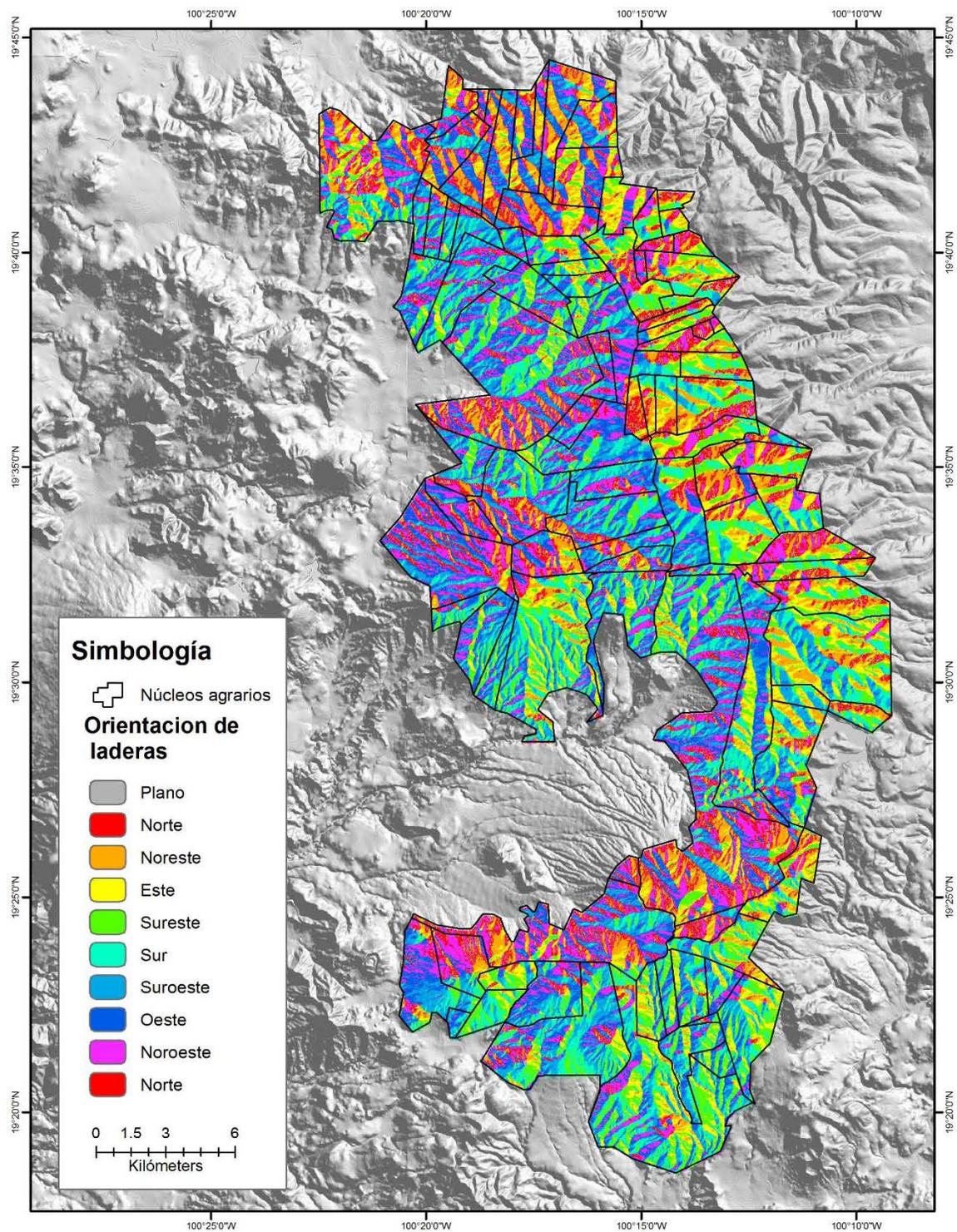


Figura 15. Mapa de orientación de laderas.

V.5.4 Pendiente.

La pendiente se refiere al ángulo de inclinación de una superficie con respecto al plano horizontal. En este estudio se consideró la pendiente debido a que salamandras y anuros, se registraron desde áreas planas hasta zonas con pendientes fuertes. En la reserva las áreas con pendientes suaves tienen una gran presión humana, ya que en ellas se desarrollan actividades como la agricultura, ganadería y la construcción. Esto sin duda afecta a los anfibios que desde tiempo atrás habitaban esas áreas, y actualmente los puntos de agua cercanos y la vegetación remanente están perdiendo la conectividad que es necesaria para que los anfibios puedan reproducirse en diferentes puntos de agua o como refugio (Lozano, et al. 2001; Moreno & Rodríguez, 2013; Lobos, *et al.* 2013).

El mapa de pendientes se realizó a partir del Modelo Digital del Terreno a 15 m proveniente de INEGI. En el software ArcGis se hizo uso de la herramienta pendiente, la cual tiene como función calcular para cada celda, la tasa máxima de cambio del valor de esa celda a sus vecinas. El resultado obtenido a partir del MDT es una capa raster, con unidades de valor de la pendiente en grados. Una vez obtenida la capa se reclasificó y se convirtió a una resolución de 5 m por píxel (*Figura 16*).

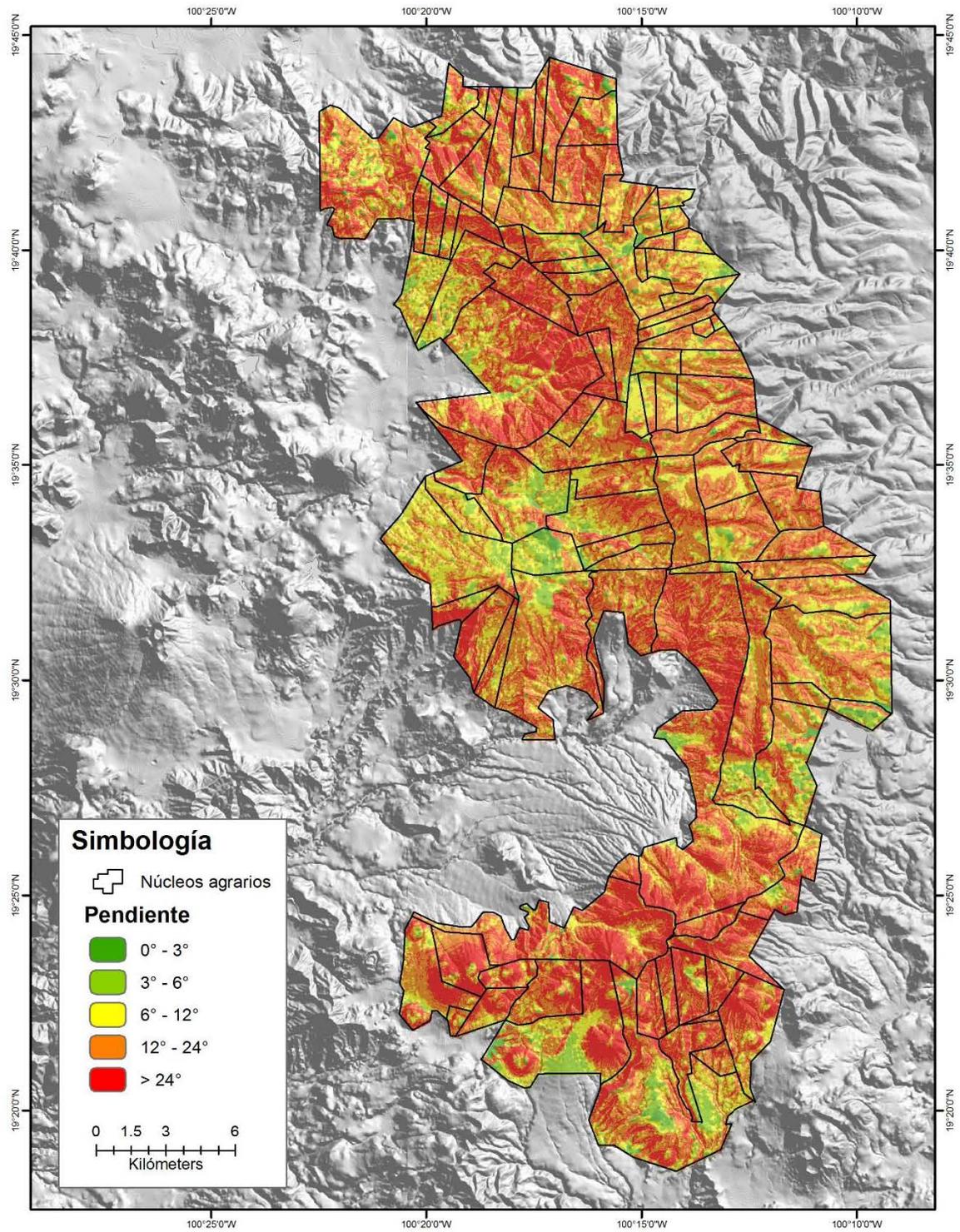


Figura 16. Mapa de pendientes.

V.5.5 Distancia a corrientes hídricas.

Las corrientes hídricas superficiales son muy susceptibles a presentar un deterioro en la calidad de sus aguas. A causa de diversos usos tales como el vertido de aguas residuales de origen doméstico, industrial, agrícola y recreativos entre otros (Lozano, et al. 2001). En la reserva existen anfibios que se encuentran dentro de las corrientes superficiales y otros que están asociadas a ellas. Estudios han determinado que los anfibios, principalmente anuros no se encuentran muy alejados de estas corrientes (Tracy, 1976). El cuidado de las corrientes hídricas representa una fuente de agua saludable para estos organismos, que también reflejan la calidad de los servicios ambientales hidrológicos provenientes de la reserva.

La capa de distancia a corrientes hídricas fue generada a partir de la red hidrográfica escala 1:50 000 de INEGI en formato vectorial aplicando la herramienta de ArcGis: Distancia Euclidiana la cual calcula desde el centro de la red hídrica de origen hasta el centro de cada una de las redes hídricas circundantes. El resultado obtenido es una capa raster la cual se reclasificó a 5 m por píxel para generar la combinación con las demás capas de información geográfica (*Figura 17*).

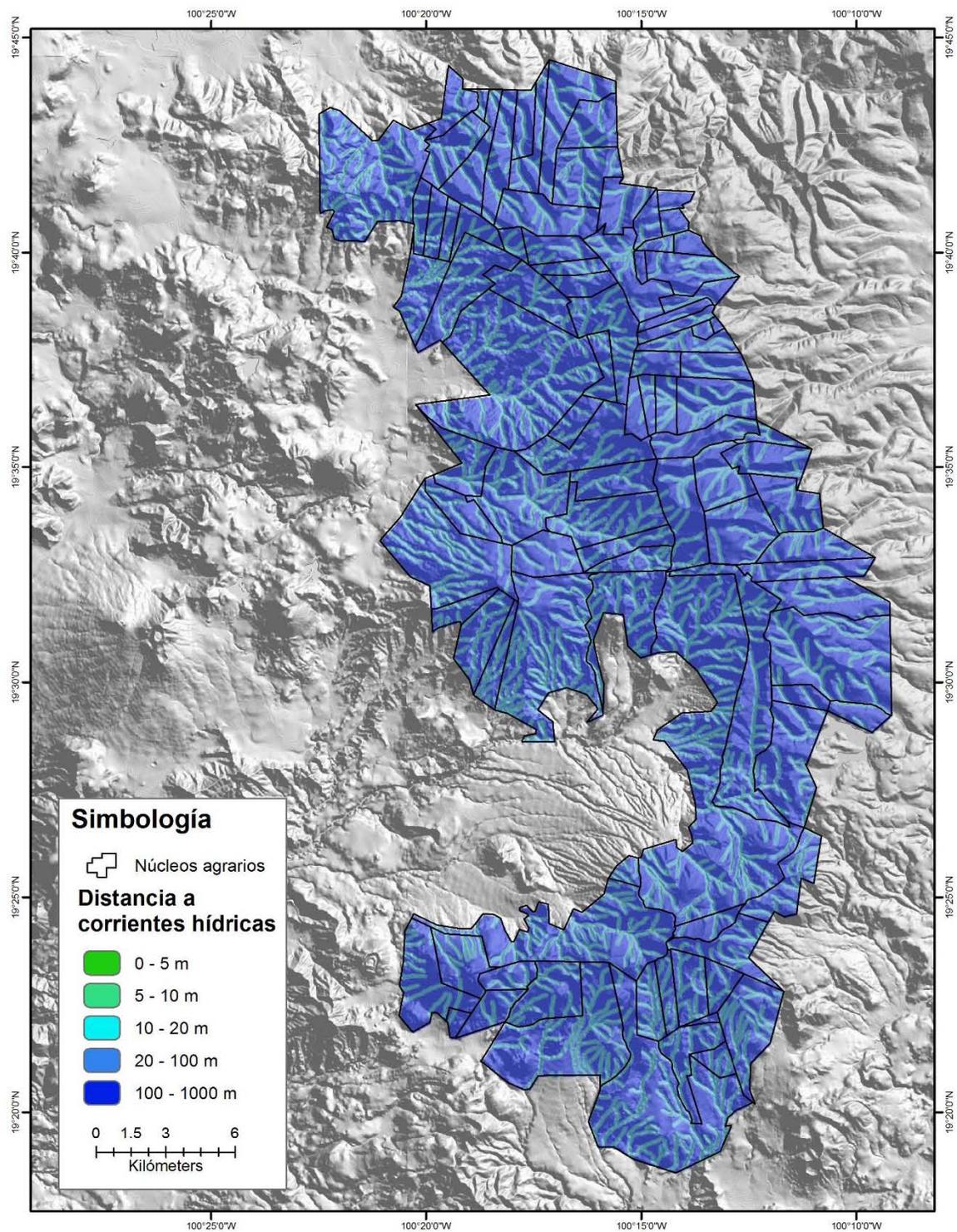


Figura 17. Mapa de distancia a corrientes hídricas

V.5.6 Distancia a localidades.

Una localidad es una unidad estadística territorial que tiene un núcleo de población con identidad propia (Vega-Estrada, *et al.* 2010). Debido al impacto que las ciudades tienen sobre la biodiversidad y sobre los servicios ambientales se consideró utilizar las localidades circundantes a la reserva para ver el grado de influencia que éstas originan en la composición, riqueza y distribución de los indicadores en la reserva.

Los metadatos de las localidades se obtuvieron del catálogo de entidades federativas, municipios y localidades de INEGI. Los datos obtenidos contienen la información estadística de los censos y las encuestas con los lugares geográficos correspondientes. El procedimiento fue hacer un recorte de las localidades en formato vectorial para tener únicamente las localidades circundantes a la RBMM. De manera automatizada en el software ArcGis se le aplicó al conjunto de datos vectoriales, la herramienta de Distancia Euclidiana, que es un algoritmo que calcula desde el centro de las localidades de origen hasta el centro de cada una de las demás localidades circundantes. El resultado obtenido es una capa raster con valores de distancia entre las localidades. Esta capa se reclasificó y se transformó a 5 m por píxel para poder hacer el álgebra de mapas (*Figura 18*).

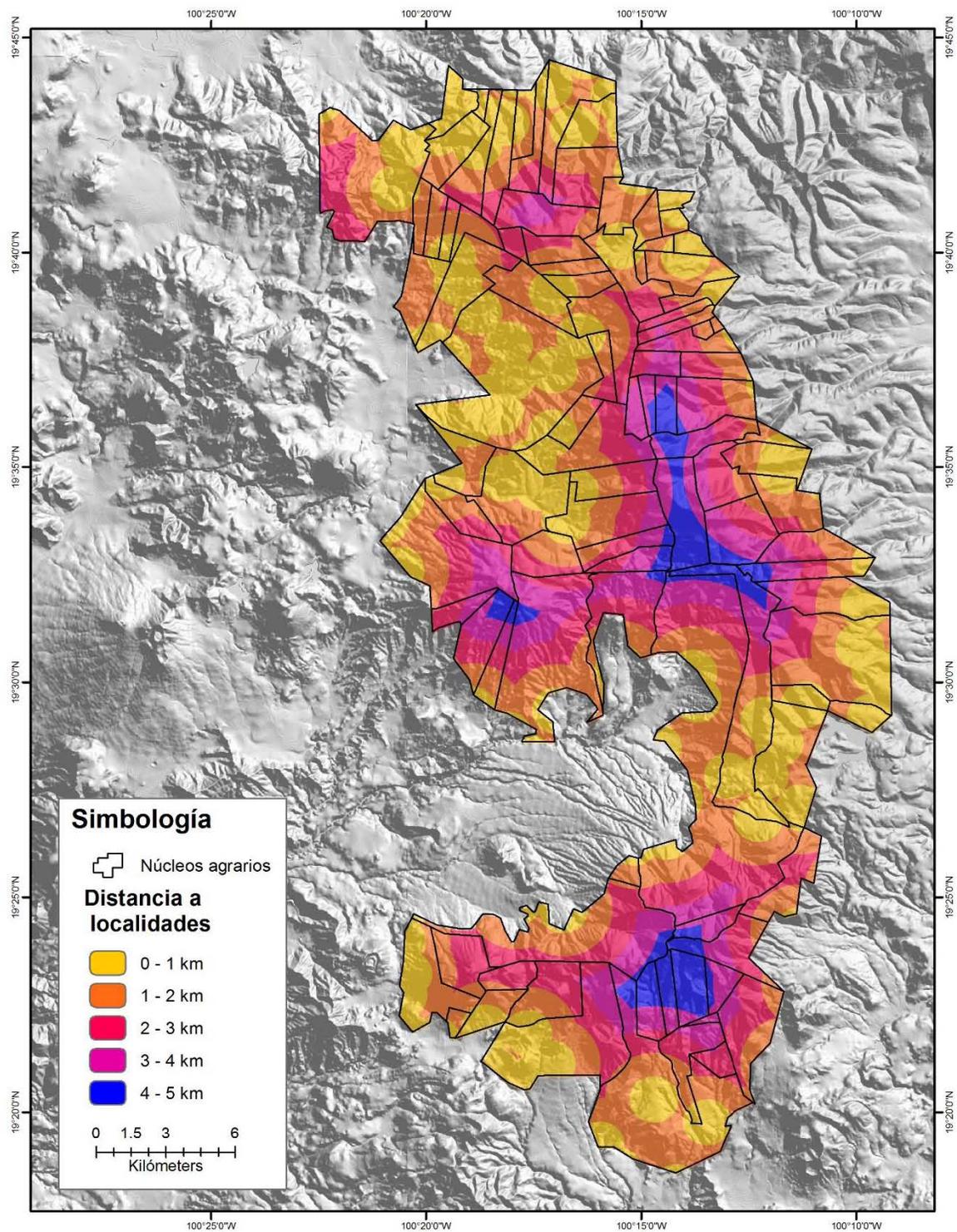


Figura 18. Mapa de distancia a localidades.

V.5.7 Tipo de vegetación.

Los tipos de vegetación que existen en la RBMM resguardan una importante variedad especies de anfibios, por lo que se consideró este factor en el análisis; además, el bosque es el principal productor de servicios ambientales. Entre los principales tipos de vegetación que existen en la reserva está el bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de encino, juniperus y pastizal (Cornejo, *et al.* 2003).

El método para obtener los diferentes tipos de vegetación se basó en López y Vega (2009), para después transformar a formato raster y reclasificar con sus respectivas categorías, al ser convertido a 5 m por píxel para su manejo y la combinación con las demás capas (*Figura 19*).

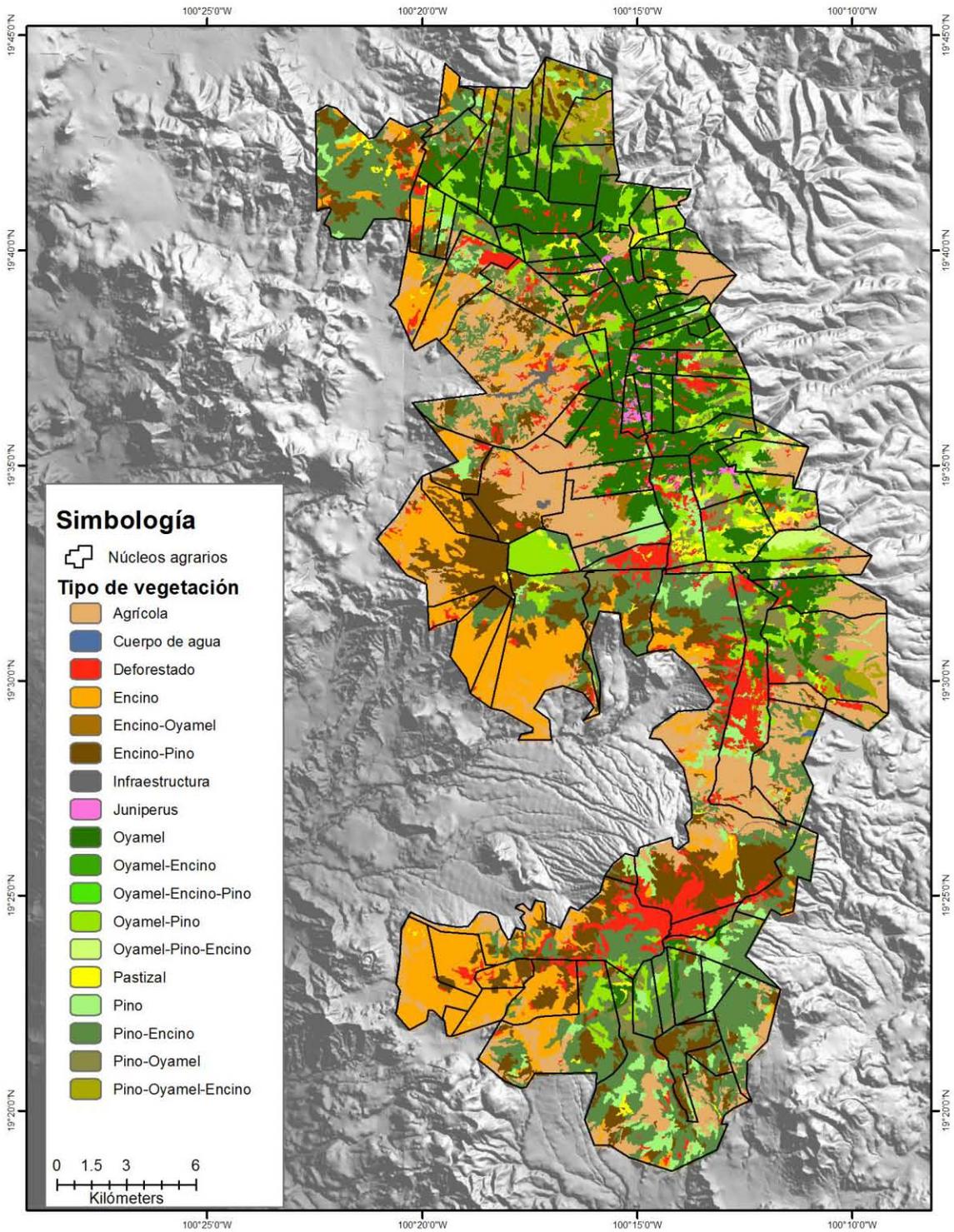


Figura 19. Mapa de tipos de vegetación.

V.5.8 Temperatura.

La temperatura es una magnitud física que está relacionada con la sensación de calor o frío. Actualmente el cambio climático se encuentra dentro de las causas de extinción de las especies, siendo de importancia la generación de la capa de temperatura de la reserva (IUCN & RED LIST, 2008).

Ciertas especies son mucho más sensibles a los cambios de temperatura debido a su biología y sus características ecológicas. Los anfibios son organismos que presentan una fuerte sensibilidad al cambio climático, debido a la dependencia de un hábitat especializado, limitada capacidad de dispersión o de colonización de zonas nuevas o más favorables y por la perturbación (IUCN & RED LIST, 2008).

La capa de temperatura (*Figura 20*) se obtuvo considerando el gradiente altitudinal, debido a que se considera que la temperatura desciende a mayor altitud. Para generar la capa se sobrepuso la capa de temperatura media anual de Worldclim, además del modelo digital de elevación (DEM), para extraer puntos al azar con los datos de temperatura y altitud. Después se realizó una correlación en donde se obtuvo una $r= 0.98$ y posteriormente se sustituyeron los valores de la prueba de R en Map Algebra para obtener la capa de temperatura en el software ArcGis 10.1 (Fries, et al. 2011).

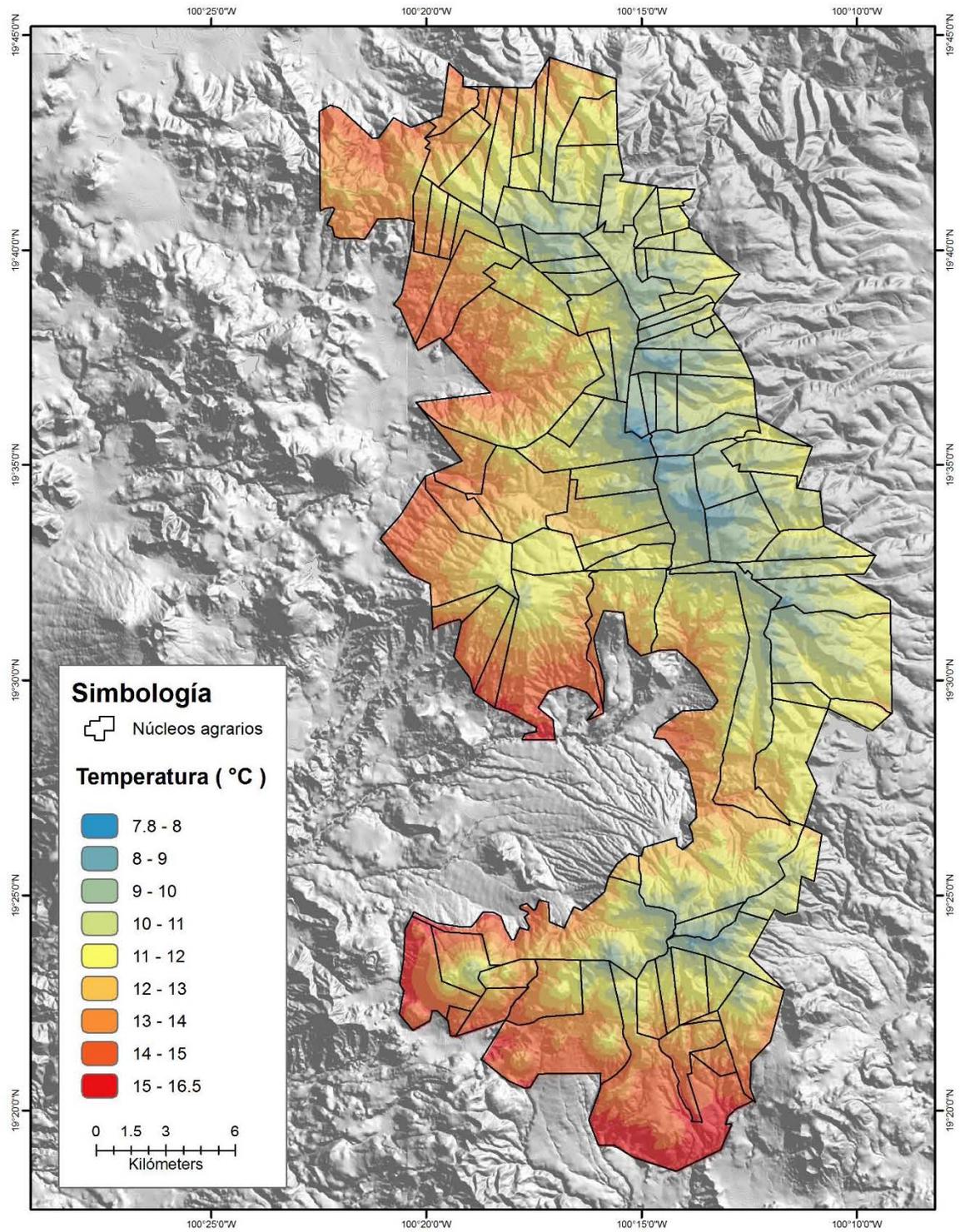


Figura 20. Mapa de temperatura.

V.6 Trabajo de campo

V.6.1 Muestreo de anfibios.

Para conocer las especies registradas para la reserva y así facilitar la identificación durante los muestreos se revisaron los trabajos previos de anfibios en reserva y posteriormente los organismos descritos en la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles del Instituto de Biología, UNAM. Se elaboró una guía fotográfica de cada especie para poder identificarlas. En el caso de los anfibios que no pudieran ser identificados se determinarían con la ayuda de claves especializadas.

Los datos se recopilaban de manera manual y automática. Con el uso del GPS se almacenaron puntos de localización de cada una de las especies con un identificador único. Con la ayuda de formatos de campo se tomaron datos cualitativos de los organismos, tales como el género y la especie, localización, temperatura, punto de rocío, altitud, cobertura del dosel, tipo de vegetación y humedad relativa. Así mismo, se asignó un identificador único para posteriormente empalmar esta información con la registrada en el GPS.

Con el fin de obtener información de la presencia de los anfibios se realizaron muestreos durante la temporada de lluvias, donde la probabilidad de encontrar a estos organismos estaría en su punto máximo (Lips, 2000). En total se seleccionaron cuatro áreas de muestreo, dos áreas de muestreo que corresponden a dos ejidos en el año 2011 y dos áreas de muestreo en 2013. Los datos recolectados como tipo de bosque, cobertura del dosel, temperatura, humedad relativa y punto de rocío, localización geográfica, se registraron en campo. Todos

los análisis posteriores se realizaron en los Institutos de Geografía y Biología, de la UNAM.

Para obtener los registros de los anfibios considerados en este trabajo de investigación, se recopiló información proveniente de bibliografía publicada y no publicada, como tesis, planes de manejo e informes. Además de los registros de colecta. Se consideró únicamente aquellos registros que contenían información de la ubicación geográfica exacta.

1 Publicados y no publicados (Sánchez-Núñez, 2007), Colección Nacional de Anfibios y Reptiles, y Bases de datos digitales (Global Biodiversity Information Facility). De estas se obtuvieron 267 registros con ubicaciones GPS.

Los datos recopilados durante la salida de campo en el año 2011 y 2013 generan un total de 482 registros pertenecientes a 8 géneros de anfibios. Los modelos se generarán para seis especies: *Ambystoma rivulare*, *Pseudoeurycea bellii*, *Pseudoeurycea leprosa*, *Pseudoeurycea longicauda*, *Hyla plicata* y *Lithobates spectabilis* (Figura 21).

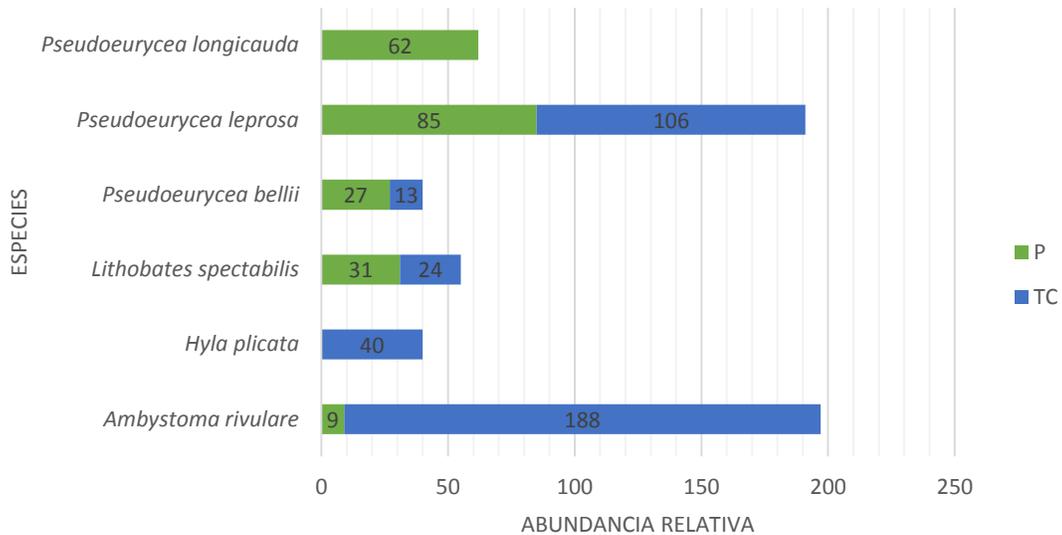


Figura 21. Abundancia relativa de los anfibios seleccionados para los modelos (TC: Trabajo de campo, P: publicados y no publicados).

V.6.2 Construcción de la base de datos.

La base de datos espacial se realizó con la información obtenida en campo y los datos publicados y no publicados de los anfibios para obtener un total de 585 registros (*Figura 22*) que fueron introducidos en el SIG. A cada observación se agregó la información que se levantó por medio del trabajo de campo.

Los datos de cada anfibio representados en la tabla y vinculados a su respectiva localización y distribución, son los siguientes:

- a) Identificador: Es una clave numérica exclusiva para cada dato.
- b) Familia: En la clasificación biológica, la familia agrupa a los géneros que están relacionados entre sí.
- c) Género y especie: Es un grupo de organismos que a su vez se pueden dividir en varias especies (existen algunos géneros que son monoespecíficos)

-
- d) Coordenadas: es el sistema de referencia que se utilizó para ubicar la posición de los anfibios en la superficie terrestre.
 - e) Estado: Debido a que la reserva se encuentra entre dos estados (Estado de México y Michoacán) se registró a qué estado pertenecen las especies.
 - f) Ejido: Se registró en qué ejido estaban las especies para tener un conteo de los ejidos que han sido muestreados en la reserva y ver en cuales aún no se ha hecho, además de ver cuáles son los que cuentan con pago por servicios ambientales.
 - g) Fuente: es la columna que indica de donde se obtuvieron los registros de los anfibios.

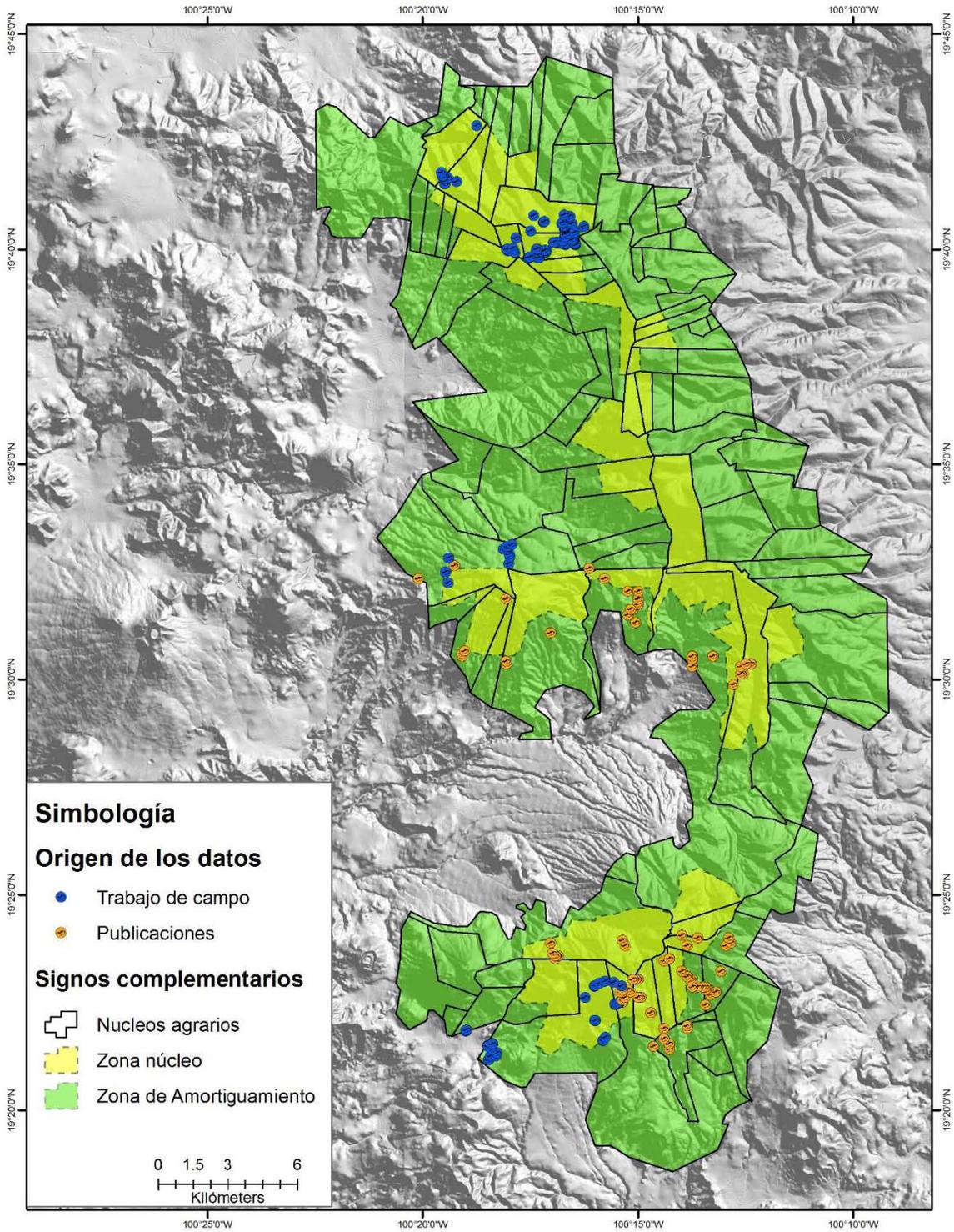


Figura 22. Mapa de muestreo de anfibios.

V.7 Método para determinar las áreas aptas para los SAH

El método empleado para generar las áreas aptas para los Servicios Ambientales Hidrológicos en la Reserva se basa principalmente en la probabilidad del hábitat de especies indicadoras al tener una dependencia del agua y requerir un hábitat conservado. Para este trabajo se utilizaron dos métodos: Análisis multicriterio y Pesos de evidencia para lograr una evaluación objetiva o complementaria de la calidad del hábitat de los anfibios basado en la relación de la distribución de las especies, datos ambientales, antropogénicos, la selección y toma de decisiones.

V.7.1 Análisis Multicriterio.

El análisis multicriterio es un conjunto de técnicas orientadas a asistir en procesos de decisión (Barredo, 1996). La toma de decisiones es un proceso basado en un conjunto de factores o variables que van a influir de manera positiva o negativa tomando en cuenta la opinión de especialistas involucrados en el tema, para identificar la importancia de cada uno de los parámetros (García, et al. 2004; Galindo-Serrano, 2013).

V.7.2 Procedimiento.

Para generar el análisis multicriterio, se establecieron las ocho capas de información geográfica mencionadas anteriormente (altitud, cobertura de la vegetación, distancia a corrientes hídricas, distancia a localidades, pendiente, orientación de las laderas, tipo de vegetación y temperatura media anual) como parámetros. De acuerdo con la bibliografía se estableció una escala común de clasificación para cada parámetro o factor (*Cuadro 6*), con la que se calificaría en una matriz de pares

(Cuadro 7) los factores mencionados para desarrollar un conjunto de pesos de cada parámetro mediante una entrevista realizada a seis especialistas en el tema (García, et al. 2004).

Cuadro 6. Escala base para realizar la comparación de importancia de cada parámetro.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Extremadamente	Fuertemente	Moderadamente	Ligeramente	Igual	Ligeramente	Moderadamente	Fuertemente	Extremadamente								
← Menos importante					→ Más importante											

Cuadro 7. Matriz de pares

Factores	Temperatura	D. a corrientes hídricas	Altitud	Pendiente	Orientación de laderas	Tipo de vegetación	Cobertura de la vegetación	Distancia a localidades
Temperatura	1							
D. a corrientes hídricas		1						
Altitud			1					
Pendiente				1				
Orientación de laderas					1			
Tipo de vegetación						1		
Cobertura de la vegetación							1	
Distancia a localidades								1

En total se generaron cuatro cuestionarios correspondientes a seis especies de anfibios para cada uno de los especialistas, debido a que cada una de las especies tienen características particulares en la RBMM. Después de concluir las entrevistas, los resultados se capturaron en una hoja de trabajo del programa Microsoft Excel (Cuadro 8 y Cuadro 9); para determinar los promedios de cada factor en cada una de las encuestas, en las que después se obtuvo el peso final para cada género de anfibio (Cuadro 10). La asignación de los pesos en el análisis multicriterio considera que la problemática tiene un valor igual a 1 y los valores de los pesos deben estar entre 0 y 1, pero la sumatoria de éstos debe de ser 1 (Caloni, 2010). Al tener los promedios de cada encuesta y para cada uno de los anfibios nuevamente se

obtuvieron los promedios para obtener el peso específico de cada factor y para cada una de las especies.

Cuadro 8. Resultados de encuestas aplicadas a especialistas para la salamandras del género *Pseudoeurycea*.

Pseudoeurycea (Especialista 1)	Temperatura	orrientes hídrica	Altitud	Pendiente	Orientación de laderas	Tipo de vegetación	Cobertura de la vegetación	Proximidad a localidades
Temperatura	1	7	1/9	9	1	1/7	1/9	5
Corrientes hídricas	1/7	1	1/9	6	1/8	1/7	1/5	6
Altitud	9	9	1	8	7	1	1/8	9
Pendiente	1/9	1/6	1/8	1	1/7	1/7	1/5	1
Orientación de laderas	1	8	1/7	7	1	5	5	8
Tipo de vegetación	7	7	1	7	1/5	1	5	9
Cobertura de la vegetación	9	5	8	5	1/5	1/5	1	9
Proximidad a localidades	1/5	1/6	1/9	1	1/8	1/9	1/9	1
	27,45396825	37,33333333	10,6011905	44	9,79285714	7,73968254	11,7472222	48
Pseudoeurycea (Especialista 2)	Temperatura	orrientes hídrica	Altitud	Pendiente	Orientación de laderas	Tipo de vegetación	Cobertura de la vegetación	Proximidad a localidades
Temperatura	1	7	1	9	1/4	1/9	1/7	1/7
Corrientes hídricas	1/7	1	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/8
Altitud	1	5	1	7	7	3	4	1/9
Pendiente	1/9	6	1/7	1	5	1/3	1/8	1/7
Orientación de laderas	4	7	1/7	1/5	1	1/4	1/6	1/8
Tipo de vegetación	9	8	1/3	3	4	1	1	1
Cobertura de la vegetación	7	9	1/4	8	6	1	1	1
Proximidad a localidades	7	8	9	9	8	1	1	1
	29,25	51,00	12,07	37,37	31,39	6,82	7,55	3,65
Pseudoeurycea (Especialista 3)	Temperatura	orrientes hídrica	Altitud	Pendiente	Orientación de laderas	Tipo de vegetación	Cobertura de la vegetación	Proximidad a localidades
Temperatura	1	7	1	7	4	1/3	1	7
Corrientes hídricas	1/7	1	1/7	1	1/5	1/7	1/7	1/7
Altitud	1	7	1	6	6	1	1	7
Pendiente	1/7	1	1/6	1	1	1/7	1/7	1
Orientación de laderas	1/4	5	1/6	1	1	1/7	1/7	1
Tipo de vegetación	3	7	1	7	7	1	1	6
Cobertura de la vegetación	1	7	1	7	7	1	1	6
Proximidad a localidades	1/7	7	1/7	1	1	1/6	1/6	1
	6,68	42,00	4,62	31,00	27,20	3,93	4,60	29,14
Pseudoeurycea (Especialista 4)	Temperatura	orrientes hídrica	Altitud	Pendiente	Orientación de laderas	Tipo de vegetación	Cobertura de la vegetación	Proximidad a localidades
Temperatura	1	1/4	1	7	1	7	9	9
Corrientes hídricas	4	1	1	7	1	1	1	9
Altitud	1	1	1	4	8	7	7	8
Pendiente	1/7	1/7	1/4	1	1/5	1/9	1/9	1/2
Orientación de laderas	1	1	1/8	5	1	1/7	1/8	8
Tipo de vegetación	1/7	1	1/7	9	7	1	1/8	8
Cobertura de la vegetación	1/9	1	1/7	9	8	8	1	8
Proximidad a localidades	1/9	1/9	1/8	2	1/8	1/8	1/8	1
	7,51	5,50	3,79	44,00	26,33	24,38	18,49	51,50
Pseudoeurycea (Especialista 5)	Temperatura	orrientes hídrica	Altitud	Pendiente	Orientación de laderas	Tipo de vegetación	Cobertura de la vegetación	Proximidad a localidades
Temperatura	1	3	3	4	1/2	1/3	1/4	1/5
Corrientes hídricas	1/3	1	1/3	1/4	1/3	1/3	1/4	1/5
Altitud	1/3	3	1	1/2	1/2	1/4	1/5	1/6
Pendiente	1/4	4	2	1	1/2	1/3	1/4	1/6
Orientación de laderas	2	3	2	2	1	1/4	1/5	1/6
Tipo de vegetación	3	3	4	3	4	1	1/3	1/5
Cobertura de la vegetación	4	4	5	4	5	3	1	1/5
Proximidad a localidades	5	5	6	6	6	5	5	1
	15,92	26,00	23,33	20,75	17,83	10,50	7,48	2,30
Pseudoeurycea (Especialista 6)	Temperatura	orrientes hídrica	Altitud	Pendiente	Orientación de laderas	Tipo de vegetación	Cobertura de la vegetación	Proximidad a localidades
Temperatura	1	6	1/7	1/7	7	1/7	1/7	7
Corrientes hídricas	1/6	1	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	2
Altitud	7	7	1	3	7	4	3	7
Pendiente	7	7	1/3	1	7	1/7	1/7	7
Orientación de laderas	1/7	7	1/7	1/7	1	1/4	1/4	5
Tipo de vegetación	7	7	1/4	7	4	1	1	7
Cobertura de la vegetación	7	7	1/3	7	4	1	1	8
Proximidad a localidades	1/7	1/2	1/7	1/7	1/5	1/7	1/8	1
	29,45	42,50	2,49	18,57	30,34	6,82	5,80	44,00

Cuadro 9. Cálculo de peso específico de cada encuesta para las salamandras del género Pseudoeurycea.

Pseudoeurycea (Especialista 1)	Temperatura	orrientes hidrica	Altitud	Pendiente	Orientación de laderas	Tipo de vegetación	Cobertura de la vegetación	Proximidad a localidades	Promedio+
Temperatura	0,036424607	0,1875	0,010481003	0,204545455	0,102115244	0,018457752	0,009458501	0,104166667	0,084143654
Corrientes hídricas	0,005203515	0,026785714	0,010481003	0,136363636	0,012764406	0,018457752	0,017025301	0,125	0,044010166
Altitud	0,327821462	0,241071429	0,094329029	0,181818182	0,71480671	0,129204266	0,010640813	0,1875	0,235898986
Pendiente	0,004047179	0,004464286	0,011791129	0,022727273	0,014587892	0,018457752	0,017025301	0,020833333	0,014241768
Orientación de laderas	0,036424607	0,214285714	0,013475576	0,159090909	0,102115244	0,646021329	0,425632537	0,166666667	0,220464073
Tipo de vegetación	0,254972248	0,1875	0,094329029	0,159090909	0,020423049	0,129204266	0,425632537	0,1875	0,182331505
Cobertura de la vegetación	0,327821462	0,133928571	0,754632229	0,113636364	0,020423049	0,025840853	0,085126507	0,1875	0,206113629
Proximidad a localidades	0,007284921	0,004464286	0,010481003	0,022727273	0,012764406	0,01435603	0,009458501	0,020833333	0,012796219
	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pseudoeurycea (Especialista 2)	Temperatura	orrientes hidrica	Altitud	Pendiente	Orientación de laderas	Tipo de vegetación	Cobertura de la vegetación	Proximidad a localidades	Promedio+
Temperatura	0,034183397	0,137254902	0,082856579	0,240856378	0,007963595	0,016293279	0,018932422	0,039173014	0,072189196
Corrientes hídricas	0,004883342	0,019607843	0,016571316	0,004460303	0,004550626	0,018329939	0,014725217	0,034276387	0,014675622
Altitud	0,034183397	0,098039216	0,082856579	0,187332739	0,222980666	0,439918534	0,53010781	0,0304679	0,203233505
Pendiente	0,003798155	0,117647059	0,011836654	0,02676182	0,1592719	0,048879837	0,016565869	0,039173014	0,052991789
Orientación de laderas	0,136733587	0,137254902	0,011836654	0,005352364	0,03185438	0,036659878	0,022087825	0,034276387	0,052006997
Tipo de vegetación	0,30765057	0,156862745	0,02761886	0,080285459	0,12741752	0,146639511	0,132526952	0,274211099	0,15665159
Cobertura de la vegetación	0,239283776	0,176470588	0,020714145	0,214094558	0,19112628	0,146639511	0,132526952	0,274211099	0,174383364
Proximidad a localidades	0,239283776	0,156862745	0,745709213	0,240856378	0,25483504	0,146639511	0,132526952	0,274211099	0,273865589
	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pseudoeurycea (Especialista 3)	Temperatura	orrientes hidrica	Altitud	Pendiente	Orientación de laderas	Tipo de vegetación	Cobertura de la vegetación	Proximidad a localidades	Promedio+
Temperatura	0,14973262	0,166666667	0,216494845	0,225806452	0,147058824	0,084848485	0,21761658	0,240196078	0,181052569
Corrientes hídricas	0,021390374	0,023809524	0,030927835	0,032258065	0,007352941	0,036363636	0,031088083	0,004901961	0,023511552
Altitud	0,14973262	0,166666667	0,216494845	0,193548387	0,220588235	0,254545455	0,21761658	0,240196078	0,207423609
Pendiente	0,021390374	0,023809524	0,036082474	0,032258065	0,036764706	0,036363636	0,031088083	0,034313725	0,031508823
Orientación de laderas	0,037433155	0,119047619	0,036082474	0,032258065	0,036764706	0,036363636	0,031088083	0,034313725	0,045418933
Tipo de vegetación	0,449197861	0,166666667	0,216494845	0,225806452	0,257352941	0,254545455	0,21761658	0,205882353	0,249195394
Cobertura de la vegetación	0,14973262	0,166666667	0,216494845	0,225806452	0,257352941	0,254545455	0,21761658	0,205882353	0,211762239
Proximidad a localidades	0,021390374	0,166666667	0,030927835	0,032258065	0,036764706	0,042424242	0,03626943	0,034313725	0,050126881
	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pseudoeurycea (Especialista 4)	Temperatura	orrientes hidrica	Altitud	Pendiente	Orientación de laderas	Tipo de vegetación	Cobertura de la vegetación	Proximidad a localidades	Promedio+
Temperatura	0,133192389	0,045421774	0,264150943	0,159090909	0,037986705	0,287132742	0,486851991	0,174757282	0,198573092
Corrientes hídricas	0,532769556	0,181687094	0,264150943	0,159090909	0,037986705	0,041018963	0,054094666	0,174757282	0,180694515
Altitud	0,133192389	0,181687094	0,264150943	0,090909091	0,303893637	0,287132742	0,37866266	0,155339806	0,224371045
Pendiente	0,019027484	0,025955299	0,066037736	0,022727273	0,007597341	0,004557663	0,006010518	0,009708738	0,020202756
Orientación de laderas	0,133192389	0,181687094	0,033018868	0,113636364	0,037986705	0,005859852	0,006761833	0,155339806	0,083435364
Tipo de vegetación	0,019027484	0,181687094	0,037735849	0,204545455	0,265906933	0,041018963	0,006761833	0,155339806	0,114002927
Cobertura de la vegetación	0,014799154	0,181687094	0,037735849	0,204545455	0,303893637	0,328151705	0,054094666	0,155339806	0,160030921
Proximidad a localidades	0,014799154	0,020187455	0,033018868	0,045454545	0,004748338	0,00512737	0,006761833	0,019417476	0,01868938
	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pseudoeurycea (Especialista 5)	Temperatura	orrientes hidrica	Altitud	Pendiente	Orientación de laderas	Tipo de vegetación	Cobertura de la vegetación	Proximidad a localidades	Promedio+
Temperatura	0,062827225	0,115384615	0,128571429	0,192771084	0,028037383	0,031746032	0,033407572	0,086956522	0,084962733
Corrientes hídricas	0,020942408	0,038461538	0,014285714	0,012048193	0,018691589	0,031746032	0,033407572	0,086956522	0,032067446
Altitud	0,020942408	0,115384615	0,042857143	0,024096386	0,028037383	0,023809524	0,026726058	0,072463768	0,044289661
Pendiente	0,015706806	0,153846154	0,085714286	0,048192771	0,028037383	0,031746032	0,033407572	0,072463768	0,058639347
Orientación de laderas	0,12565445	0,115384615	0,085714286	0,096385542	0,056074766	0,023809524	0,026726058	0,072463768	0,075276626
Tipo de vegetación	0,188481675	0,115384615	0,171428571	0,144578313	0,224299065	0,095238095	0,04454343	0,086956522	0,133863786
Cobertura de la vegetación	0,251308901	0,153846154	0,214285714	0,192771084	0,280373832	0,285714286	0,13363029	0,086956522	0,199860848
Proximidad a localidades	0,314136126	0,192307692	0,257142857	0,289156627	0,336448598	0,476190476	0,668151448	0,434782609	0,371039554
	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pseudoeurycea (Especialista 6)	Temperatura	orrientes hidrica	Altitud	Pendiente	Orientación de laderas	Tipo de vegetación	Cobertura de la vegetación	Proximidad a localidades	Promedio+
Temperatura	0,03395	0,14118	0,05742	0,00769	0,23070	0,02094	0,02462	0,15909	0,08445
Corrientes hídricas	0,00566	0,02353	0,05742	0,00769	0,00471	0,02094	0,02462	0,04545	0,02375
Altitud	0,23767	0,16471	0,40191	0,16154	0,23070	0,58639	0,51692	0,15909	0,30737
Pendiente	0,23767	0,16471	0,13397	0,05385	0,23070	0,02094	0,02462	0,15909	0,12819
Orientación de laderas	0,00485	0,16471	0,05742	0,00769	0,03296	0,03665	0,04308	0,11364	0,05762
Tipo de vegetación	0,23767	0,16471	0,10048	0,37692	0,13183	0,14660	0,17231	0,15909	0,18620
Cobertura de la vegetación	0,23767	0,16471	0,13397	0,37692	0,13183	0,14660	0,17231	0,18182	0,19323
Proximidad a localidades	0,00485	0,01176	0,05742	0,00769	0,00659	0,02094	0,02154	0,02273	0,01919
	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Cuadro 10. Integración de los resultados de las encuestas para el cálculo del peso específico.

	Pseudoeurýcea (E	Peso Específico					
Temperatura	0,084143654	0,072189196	0,181052569	0,198573092	0,120711472	0,084447957	0,123519657
Corrientes hídrícas	0,044010166	0,014675622	0,023511552	0,180694515	0,07198367	0,023752159	0,059771281
Altitud	0,235898986	0,203235854	0,207423609	0,224371045	0,215721413	0,307366028	0,232336156
Pendiente	0,014241768	0,052991789	0,031508823	0,020202756	0,02567004	0,128192577	0,045467959
Orientación de laderas	0,220464073	0,052006997	0,045418933	0,083435364	0,131409351	0,057623011	0,098392955
Tipo de vegetación	0,182331505	0,15665159	0,249195394	0,114002927	0,17866882	0,186200177	0,177841735
Cobertura de la vegetación	0,206113629	0,174383364	0,211762239	0,160030921	0,190983964	0,193227689	0,189416968
Proximidad a localidades	0,012796219	0,273865589	0,050126881	0,01868938	0,06485127	0,019190401	0,07325329
	1	1	1	1	1	1	1

Una vez que se obtuvieron los pesos específicos para cada mapa de cada una de las especies, se procedió a realizar en análisis de pesos de evidencia el cual tiene como objetivo definir la información de cada mapa temático y cómo van a influir de manera positiva (Aptitud) o negativa (Impacto) en cada una de las especies (Xue-Qing, et al. 2012; Galindo-Serrano, 2013).

V.8 Pesos de Evidencia (Weights of Evidence, WOFE)

Los pesos de evidencia es un método estadístico multivariado que usa las probabilidades condicionales para determinar la importancia relativa de un fenómeno de evidencia (Romero-Calcerrada & Luque, 2006). El método genera una medida de asociación espacial entre varias clases o mapas binarios conociendo los datos de puntos (por ejemplo, sitios de la presencia de anfibios) basándose en el teorema de Bayes para combinar patrones en los mapas con el fin de predecir la probable distribución de objetos de punto.

El análisis de pesos de evidencia implica la estimación de una variable de respuesta (favorable para ciertos hábitats de presencia) y un conjunto de variables de predicción (Capas SIG que contienen las variables ambientales, socioeconómicas, climáticas y características de vegetación entre otras). Las capas consisten en

pruebas de un conjunto de conjuntos de datos espaciales y ambientales, considerados como predictores para las variables del proyecto. Los pesos se estiman utilizando un método estadístico basado en las reglas bayesiana, de la asociación medida entre las variables ambientales y un mapa de registros de la especie. Las capas en la evidencia se combinan utilizando la regla bayesiana en una operación para sobreponer los mapas, donde la probabilidad previa ($P\{D\}$) de un registro se actualiza mediante la adición de variables predictoras y su peso para producir una sola probabilidad posterior ($P\{D|B\}$ y $P\{D|\bar{B}\}$) y el mapa de presencia. Sobre la base de las asociaciones espaciales significativas en los mapas probatorios seleccionados, el resultado final es un mapa predictivo. Este mapa de probabilidad posterior se basa en el potencial de distribución de las especies que refleja la distribución espacial de los sucesos conocidos, y predice la distribución de presencias no identificadas (Romero-Calcerrada & Luque, 2006; Guisan & Zimmermann, 2000).

V.8.1 Cálculo de los pesos de evidencia.

Para calcular los pesos de evidencia se utiliza un conjunto de registros o ubicaciones (observaciones de los anfibios). Esto se utiliza para calcular los pesos para cada tema a aprobar (Cuadro 11) (Romero-Calcerrada & Luque, 2006), un peso por cada clase, usando las relaciones de solapamiento entre los puntos y las distintas clases de cada tema.

Se utilizó el análisis de pesos calculados, que se describen en la tabla para calcular los pesos para el estudio, basado en la información disponible y generada para el lugar de los avistamientos de los anfibios y los temas de evidencia.

Un análisis de pesos de evidencia resulta en un conjunto de medidas de peso estadísticas (W^+ y W^-), contraste (C) y el valor estudentizado C (C_s)- que cada uno refleja la asociación espacial entre el mapa de evidencia y los puntos de avistamiento.

Los pesos W^+ y W^- , representan medidas del espacio y asociación entre los registros observados (áreas de avistamiento de los anfibios) y el mapa del testimonio (tipo de vegetación). Si se producen más casos dentro de un patrón lo que esperaría por casualidad es que W^+ es positivo y W^- es negativo. A la inversa, W^+ es negativo y W^- es positivo cuando menos puntos se producen dentro de un patrón que sería de esperar por casualidad. El signo $+$ en W estará siempre opuesto al de W^- .

El contraste " C " proporciona una medida de asociación espacial entre un conjunto de puntos de presencia y una evidencia patrón. Este factor es un parámetro de la correlación entre el mapa de la variable y las ocurrencias de avistamientos de los anfibios.

$$C = W^+ - W^-$$

Un valor de C mayor indica una fuerte asociación espacial entre los registros de presencia y el mapa de pruebas. Para una asociación espacial positiva, C es positivo y varía de 0 a 2 (Arteber, *et al.* 1968); en el caso de una asociación negativa C también es negativa en un rango similar.

Cuando hay un área grande y un gran número de registros, el máximo contraste a menudo da la mejor medida de correlación espacial con los puntos de presencia. Pero en el caso donde se trata de un área pequeña y hay un pequeño número de

puntos de presencias, la incertidumbre de los pesos es grande y **C** no podría tener sentido. Para ello se recurre al valor estudentizado de **C** (**CS**) que es una medida útil en este último caso (Bonham-Carter, 1994). CS se calcula como la relación de **C** a su desviación estándar:

$$CS = \frac{C}{\sigma(C)}$$

Cuadro 11. Enfoques utilizados para calcular los pesos.

Temas probatorios	Tipo de pesos calculados	Tipo de datos
Altitud	Pesos ascendentes acumulativos	Variable ordinal
Cobertura de la vegetación	Pesos categóricos	Variable ordinal
Distancia (m) a agua (corrientes, arroyos, etc.)	Pesos ascendentes acumulativos	Variable ordinal
Distancia (m) a localidades	Pesos ascendentes acumulativos	Variable ordinal
Orientación de laderas	Pesos categóricos	Variable ordinal
Pendiente	Pesos ascendentes acumulativos	Variable ordinal
Temperatura	Pesos ascendentes acumulativos	Variable ordinal
Tipo de vegetación	Pesos categóricos	Variable ordinal

V.8.2 Procedimiento y validación del modelo.

Para calcular los pesos de evidencia para cada anfibio se utilizaron 8 capas de información geográfica recalificadas en formato raster, y la presencia de las colectas de los anfibios en trabajo de campo y datos publicados en formato vectorial.

Para generar los pesos positivos y negativos de cada una de las clases de las capas de información geográfica se aplicó la siguiente fórmula:

$$(W^+) = \text{Log} \frac{\frac{A1}{A1 + A2}}{\frac{A3}{A3 + A4}} \quad (W^-) = \text{Log} \frac{\frac{A1}{A1 + A2}}{\frac{A3}{A3 + A4}}$$

A1: es el número de la presencia de la especie a analizar.

A2: es el número total de la especie menos la ausencia de la especie que está en cada clase.

A3: es el número de píxeles de la clase menos el número de la especie en está en cada clase.

A4: es el total de píxeles del área en estudio menos la suma de los píxeles de la clase y el número total de la presencia de la especie.

Log: es el logaritmo natural.

Para obtener el número de cada especie en cada una de las clases se realizó de forma automatizada con el uso del programa ArcGis mediante la sobreposición de

las capas raster y la base de datos de anfibios, extrayendo la clase o unidad a la que pertenece de cada capa de información. Además de esta información, se extrajeron el número de píxeles de cada clase o unidad y el número total de píxeles de toda el área en estudio. Los datos obtenidos se manejaron en una tabla de Excel, en la cual se realizó el cálculo del Peso Final (*Cuadro 12*). Para las clases y unidades que tuvieron valor igual a cero en cuanto el número de especies se anotó el valor 0.00001 para poder obtener el logaritmo natural (Galindo-Serrano, 2013).

Cuadro 12. Tabla para el cálculo de Peso Final de cada unidad de la capa de temperatura media anual para *Pseudoeurycea*.

Temperatura (°C)																
Clase	Num. de clase	Presencias	Num.pix	pix_clase	Total de avistamientos	Total pixeles	A1	A2	A3	A4	W+	W-	LN(W+)	LN(W-)	C (Contrate) (W+)-(W-)	Cs = C/5(C) (Estudiantizado)
7.8 a 8	1	0.00001	0.00001	12397	74	21795461	0.00001	-1.25877	21795461	-21795461.00001	0.00024	1.000569	-8.34499	0.000569	-8.34555686	-1.258764301
8 a 9	2	0.00001	0.00001	370435	74	21795461	0.00001	-1.77368	21795461	-21795461	0.00001	1.01729	-11.7422	0.017142	-11.7593535	-1.773668861
9 a 10	3	29	29	2117044	74	21795461	27	-26.7473	21795434	-21795488	4.31292	0.643594	1.461615	-0.44069	1.902301832	0.252671561
10 a 11	4	14	14	4283733	74	21795461	17	-16.9701	21795444	-21795478	1.03135	0.992332	0.030864	-0.0077	0.038561404	0.029896271
11 a 12	5	29	29	5079467	74	21795461	29	-28.8866	21795432	-21795490	1.50762	0.845752	0.41053	-0.16753	0.578058741	0.113393893
12 a 13	6	2	2	3815047	74	21795461	1	-1.41329	21795460	-21795462	0.15441	1.179416	-1.86817	0.16502	-2.03318846	-0.413294982
13 a 14	7	0.00001	0.00001	3064171	74	21795461	0.00001	-2.11263	21795461	-21795461	0.00000	1.163586	-13.8551	0.151506	-14.0065721	-2.112617914
14 a 15	8	0.00001	0.00001	2414999	74	21795461	0.00001	-2.07158	#####	-21795461.00001	0.00000	1.12461	-13.617	0.117436	-13.7344239	-2.071569665
15 a 16.5	9	0.00001	0.00001	638168	74	21795461	0.00001	-1.85762	#####	-21795461.00001	0.00000	1.030163	-12.2861	0.029717	-12.315852	-1.857605807

En esta etapa del modelo, con cada una de las especies, se realizó cada modelo un total de 10 veces (*Ambystoma rivulare*, *Hyla plicata*, *Lithobates spectabilis*, *Pseudoeurycea bellii*, *Pseudoeurycea leprosa* y *Pseudoeurycea longicauda*). Para realizar este análisis se copiaron los datos puntuales de cada una de las especies en 10 hojas de Excel y por medio de la función de azar se seleccionaron el 70% de los datos de colecta de las especies, para generar el análisis de pesos de evidencia y con el 30% restante se utilizó para la evaluación de los modelos, mediante la

validación cruzada en los mapas generados con el 70% de los puntos (Contreras-Medina, Luna-Vega, & Ríos-Muñoz, 2010).

Al final, los modelos que tuvieran mayor afinidad con el 70% de los datos en alta probabilidad, se utilizarían para obtener el modelo de cada una de las especies con mayor afinidad (Contreras-Medina, Luna-Vega, & Ríos-Muñoz, 2010; Xue-Qing, *et al.* 2012).

En la siguiente figura se muestra el esquema, del método que se siguió para generar cada uno de los mapas de la distribución potencial de los anfibios en la reserva.

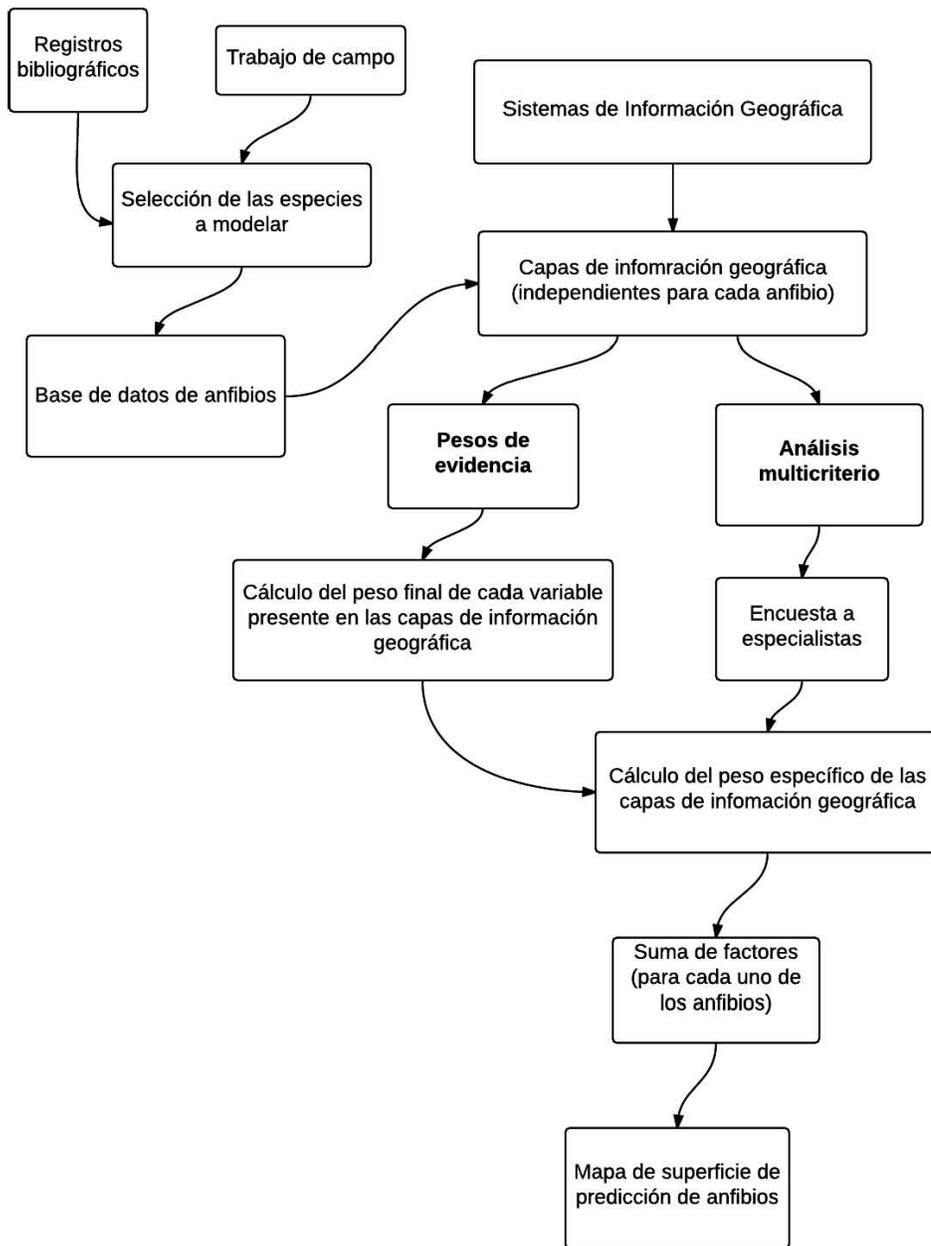


Figura 23. Esquema del método empleado para generar cada uno de los mapas de la distribución potencial de los anfibios en la reserva.

V.9 Clasificación de las zonas preferentes de los anfibios.

La clasificación de los mapas finales se construyó a partir de los resultados obtenidos del mapa de pesos de evidencia y los resultados del análisis multicriterio. Cabe mencionar que cuando el archivo raster no permite la visualización de la base de datos, se tiene que reclasificar el mismo. La capa resultante da valores negativos y positivos; los valores negativos indican que presencia del factor contribuye a la ausencia de las especies y los valores positivos indican la presencia del factor que contribuye a la predicción de las especies. En la Figura 23 se muestra la frecuencia de los resultados obtenidos, éstos se clasificaron en 4 categorías: Predicción alta, predicción moderada, predicción baja e incertidumbre alta, siendo los valores cercanos a cero correspondientes a la categoría media. Finalmente se asignan los colores y el formato (Galindo-Serrano, 2013).

Pendiente																		
Clase	No de clas	Presencia no.pix	pix_clase	A1	A2	A3	A4	W+	W-	LN(W+)	LN(W-)	(W+)-(W-)	Total de a	Total pixe	Cs = C/(C)			
0 a 3	1	61	61	475521	61	77	475460	21319870	20.26284	0.570414	3.008788	-0.561392038	3.570180467	138	21795452	0.36696817		
3 a 6	2	69	69	1476876	69	69	1476807	20318507	7.379202	0.536341	1.998665	-0.622984334	2.621649821	138	21795452	0.26947154		
6 a 12	3	8	8	4370617	8	130	4370609	17424827	0.289091	1.178315	-1.24101	0.164085327	-1.405099239	138	21795452	-0.14442595		
12 a 24	4	0.00001	0.00001	9009718	0.00001	138	9009718	12785734	1.75E-07	1.704669	-15.5568	0.533371234	-16.09015283	138	21795452	-1.65385867		
>24	5	0.00001	0.00001	6462720	0.00001	138	6462720	15332732	2.44E-07	1.421498	-15.2245	0.351711362	-15.57623947	138	21795452	-1.60103505		

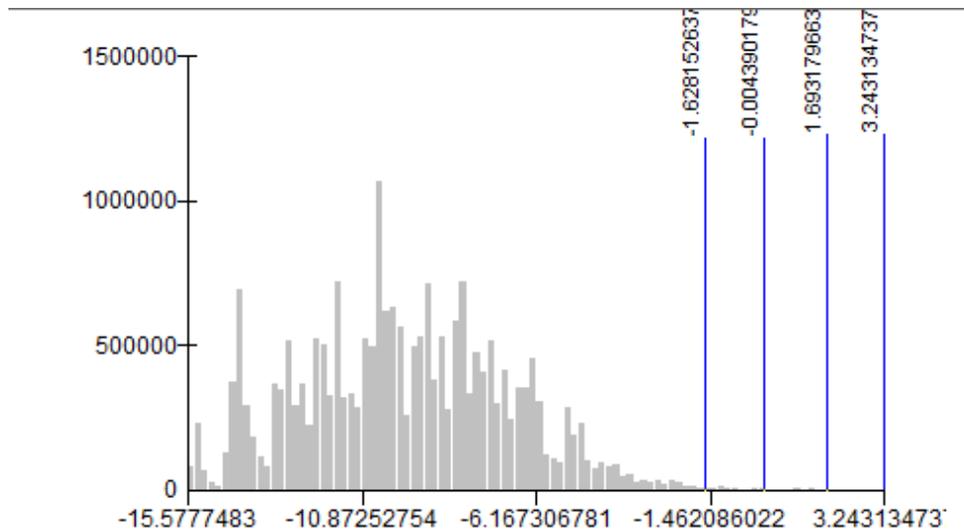


Figura 24. Clasificación de los píxeles asignados a *Ambystoma rivulare*.

V.10 Mapa de especies compartidas

El mapa generado de especies compartidas muestra la predicción obtenida de cada una de las especies utilizando la predicción moderada y alta. Con las dos categorías de cada una de las especies, se unieron para mostrar cuántas especies comparten la misma área y superficie dentro de la reserva. Esto además permitió identificar en zona núcleo y zona de amortiguamiento en número especie que interactúan o que se encuentran aisladas.

VI. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LOS MODELOS DE EVALUACIÓN

VI.1 Evaluación multicriterio

Los resultados obtenidos del análisis multicriterio para cada una de las especies, de acuerdo con la opinión de los especialistas, fueron muy variables entre opiniones o vinculado a la especie debido a que cada uno de los organismos, tiene afinidad a hábitats muy específicos.

VI.1.1 *Ambystoma rivulare*.

De acuerdo con los resultados obtenidos para *Ambystoma rivulare* y la opinión de los especialistas encuestados con base en el análisis multicriterio, la capa nombrada como proximidad a localidades (20%), las corrientes hídricas (19%) y la altitud (15%) son los parámetros que son más importantes para esta especie. Este organismo actualmente está muy restringido, se le ha registrado por encima de los 2800 m. Su distribución no es muy clara y se le puede confundir con *A. altamirani*. Los registros de esta especie son muy escasos, los datos más recientes pertenecen al año 2005 con 54 registros (Shaffer et al. 2008; GBIF, 2014)

Ambystoma rivulare habita en las corrientes hídricas dentro de bosques de oyamel y pino. Su principal deterioro del hábitat es la deforestación, perturbación del bosque y la desaparición de las corrientes necesarias para su supervivencia. Actualmente, la población de la reserva se restringe a dos localidades conocidas, las cuales están influenciadas por actividades turísticas, agrícolas y de ganadería, lo cual hace que

se le considere una especie amenazada de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Shaffer et al. 2008) (SEMARNAT, 2010). La opinión de los expertos y las variables utilizadas para modelar a esta especie, coinciden con sus requerimientos de hábitat, por lo que el modelo puede ser muy preciso (Figura 25).

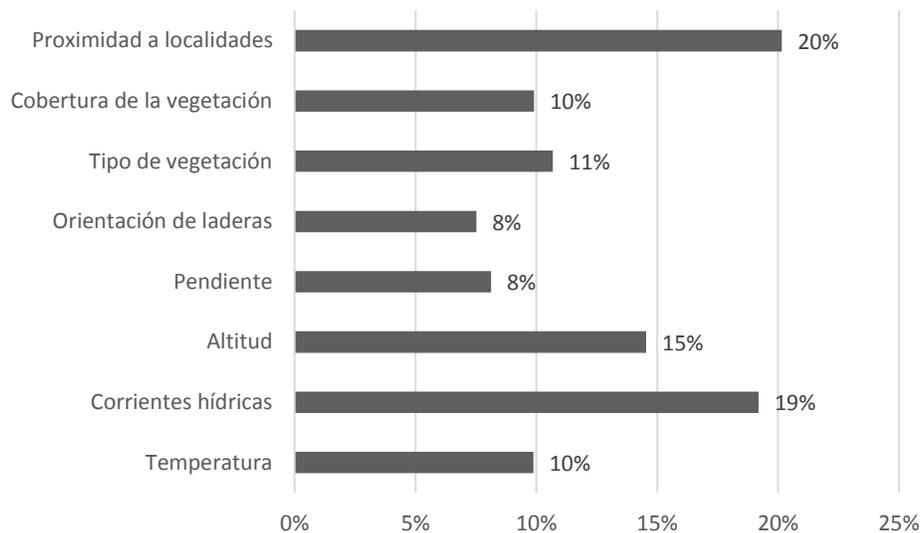


Figura 25. Peso final de las variables más importantes para *Ambystoma rivulare*.

VI.1.2 Salamandras terrestres.

En el caso de las salamandras del género *Pseudoeurycea*, los factores que son más importantes para la conservación de estos organismos es la cobertura de la vegetación (19%), el tipo de vegetación (18%) y la altitud (23%) (Figura 26). Dos de estas especies (*Pseudoeurycea bellii* y *Pseudoeurycea leprosa*) están catalogadas a nivel internacional en la lista roja y presentan un estado de especies vulnerables, De las tres salamandras, *Pseudoeurycea longicauda* es la especie más amenazada y está en la categoría de peligro (IUCN a, 2001; SEMARNAT, 2010). Entre las

principales amenazas para estas especies es la pérdida del hábitat por la tala de los bosques, extracción de madera, la agricultura y la urbanización.

Actualmente la población de estas salamandras se encuentra en decremento y las causas de su declive son poco claras (Shaffer *et al.* 2008).

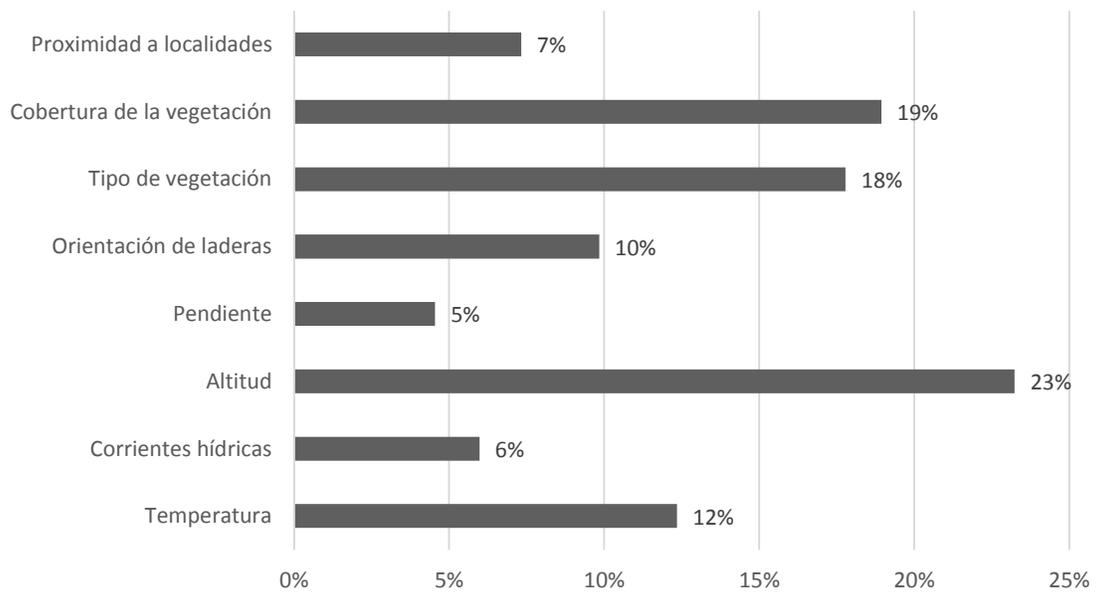


Figura 26. Peso final de las variables más importantes para las salamandras de la familia *Plethodontidae*, *Pseudoeurycea bellii*, *leprosa* y *longicauda*.

VI.1.3 Anuros.

Los anuros, al igual que las salamandras presentaron una riqueza y abundancia relativa importante en la reserva, de acuerdo con los registros bibliográficos y el trabajo de campo (Sánchez-Núñez, 2007; Carbajal-Domínguez, 2012). Se consideró a este grupo, ya que al igual que las salamandras del género *Ambystoma* y *Pseudoeurycea*, son un excelente indicador, principalmente del agua. Estos anfibios tienen un contacto mayor con los habitantes de la reserva al encontrarse en la zona de amortiguamiento a excepción de *Hyla plicata* la cual está registrada en la zona núcleo, pero la mayor riqueza de las ranas está en la parte baja donde escurren las principales corrientes de agua que forman ríos perennes e intermitentes, y estanques.

VI.1.4 *Hyla plicata*.

Es una rana que no está catalogada en riesgo a nivel internacional (IUCN a, 2001). Dentro de la reserva, esta especie sólo se registró en Sierra Chincua, la cual se considera un área conservada, otro punto importante fue que se registró en la misma área que *Ambystoma rivulare*, por ello es importante saber cuál es su área de distribución potencial, ya que al parecer necesita un hábitat con los mismo requerimientos de conservación de que *Ambystoma*, pero sin ser estrictamente acuática. Los factores más importantes para esta especie (*Figura 27*), son el tipo de vegetación (20%) y las corrientes hídricas (23%). Esta rana habita en altitudes de los 2,400 a 3,600 m y se asocia a flujos bajos, moderados y estanques (Santos-Barrera & Canseco-Márquez, 2014).

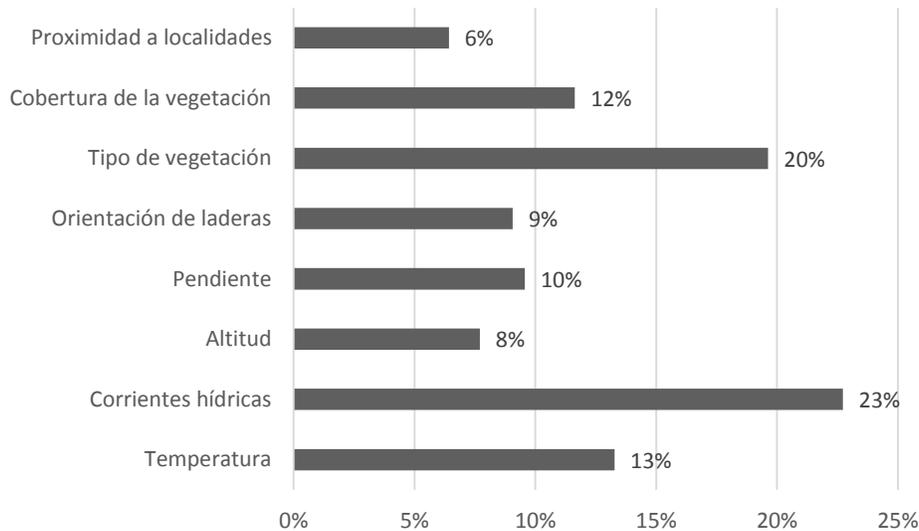


Figura 27. Peso final de las variables más importantes para *Hyla plicata*.

VI.1.5 *Lithobates spectabilis*.

Dentro de la reserva, esta rana es una de las especies más amenazadas al ser un anfibio que habita en los cuerpos de agua con más cercanía a los asentamientos humano, los cuales sufren de contaminación, esta rana se encuentra en casi todos los alrededores de la reserva, principalmente donde escurre el agua de las corrientes y en áreas de cultivo que antes eran áreas de distribución natural de esta especie. Entre los principales factores de importancia para esta especie (*Figura 28*) están la proximidad a las localidades (18%), las corrientes hídricas (20%), el tipo de vegetación (14%) y la cobertura (14%). De acuerdo con la lista roja la tendencia de las poblaciones de esta especie está decreciendo debido a la deforestación, contaminación, y alteración de las reservas de agua (Santos-Barrera y Flores-Villela, 2004).

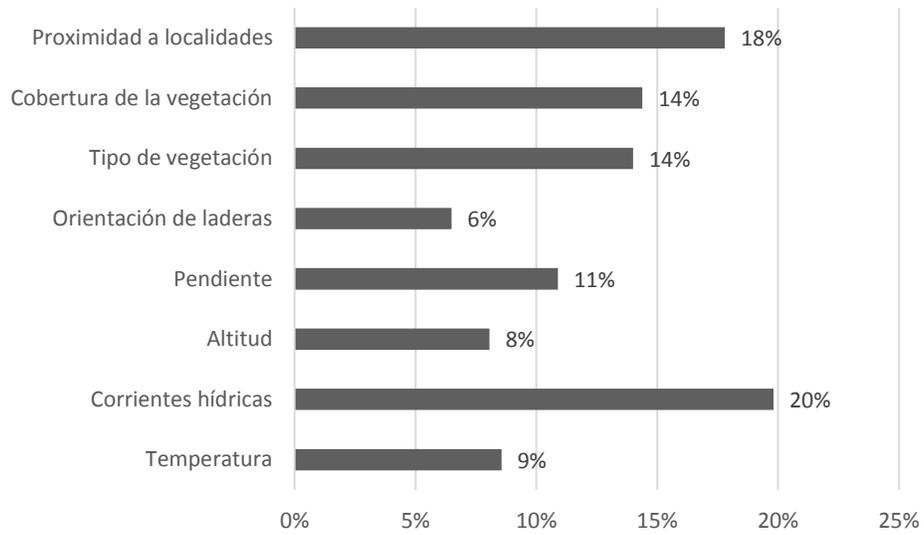


Figura 28. Peso final de las variables más importantes para *Lithobates spectabilis*.

VI.2 Evaluación de los modelos

VI.2.1 *Ambystoma rivulare*.

Los resultados de la evaluación de los modelos de la salamandra *Ambystoma rivulare* con 70% de los registros puntuales y el 30% restante como datos de validación de cada una de las réplicas al azar, determinó que la confianza de los modelos está por encima del 90% como se observa en la *Figura 29*. Esto quiere decir que el modelo es sumamente robusto y coincide bastante bien con la superficie de distribución conocida de la especie, obteniendo un mínimo 10% de error de omisión en la predicción del modelo.

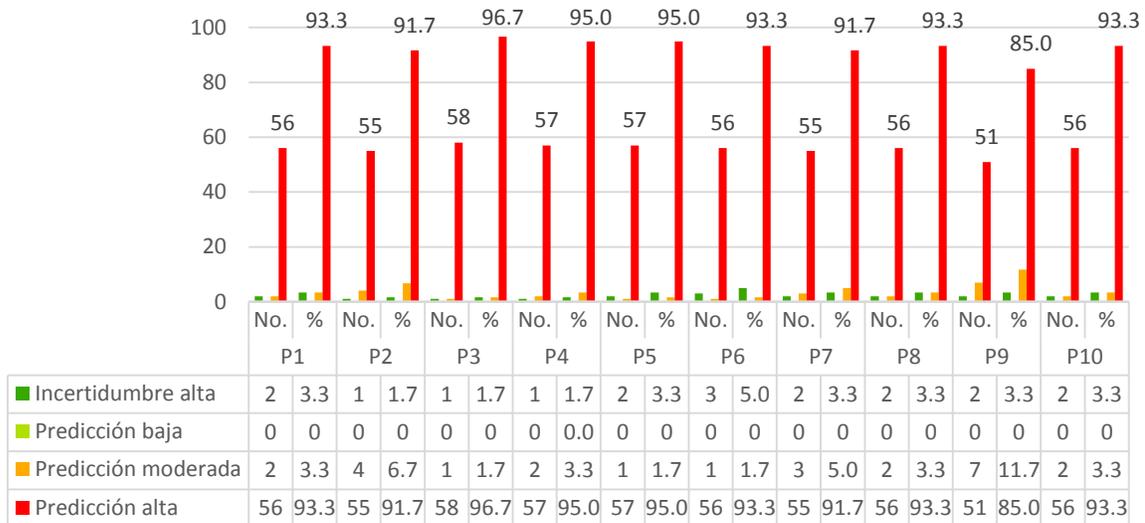


Figura 29. Resultados de los registros control de *Ambystoma rivulare*.

VI.2.2 Salamandras terrestres.

El promedio de los modelos generados para las salamandras del género *Pseudoeurycea* es de 80% para *Pseudoeurycea belli* (Figura 30), para *Pseudoeurycea longicauda* (Figura 31) de 81.1% y 94.7% para *Pseudoeurycea leprosa* (Figura 32). Estos modelos obtuvieron resultados similares, lo que indica un porcentaje muy bajo de omisión. Esta información generada de los modelos de predicción de áreas favorables para las salamandras sugiere que puede servir para encontrar sitios de alta calidad y conservados dentro de la reserva.

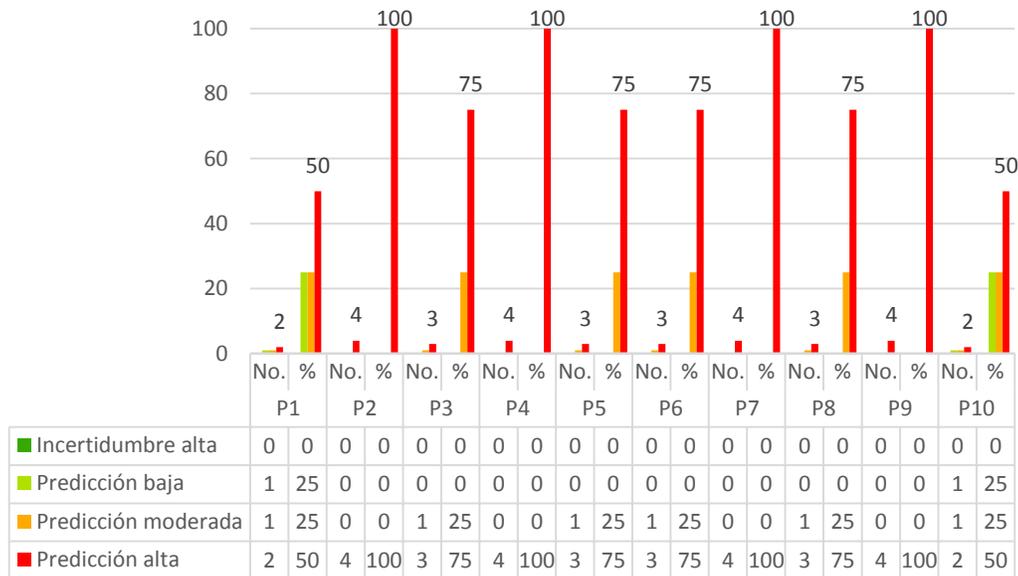


Figura 30. Resultados de los registros control de *Pseudoeurycea belli*.

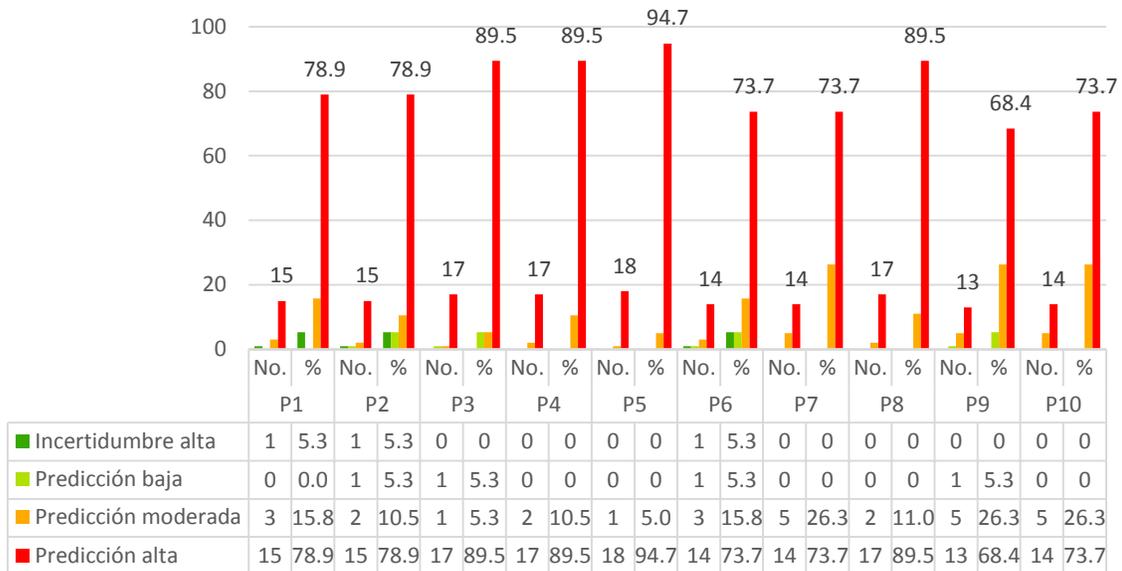


Figura 31. Resultados de los registros control de *Pseudoeurycea longicauda*.

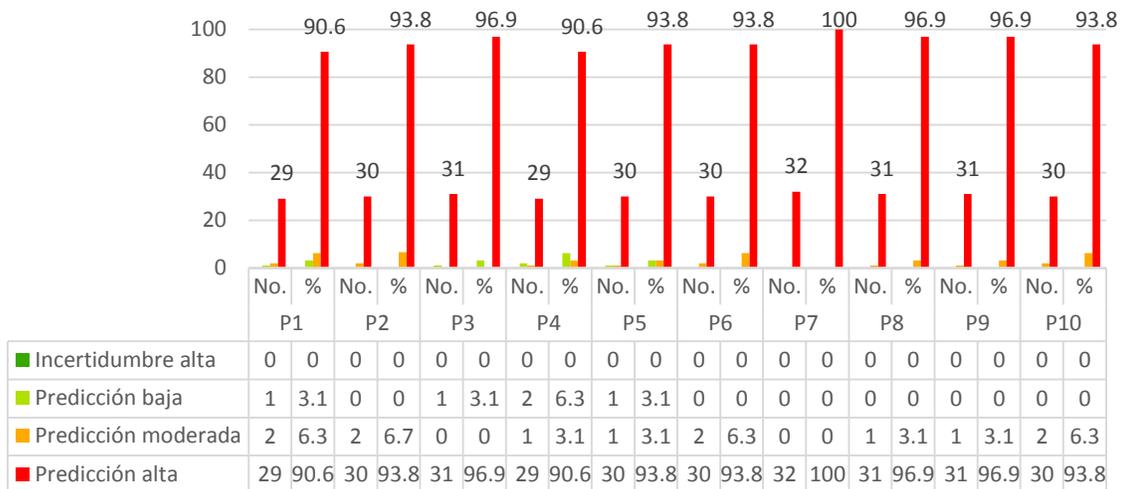


Figura 32. Resultados de los registros control de *Pseudoeurycea leprosa*.

VI.2.3 Anuros

Hyla plicata (Figura 33) mostró que el promedio de los modelos de predicción es alta (88%). Los resultados de la evaluación de los modelos sugieren que la distribución de esta rana coincide bastante bien con la distribución conocida de la especie obteniendo un 12% de error de omisión. En el caso de *Lithobates spectabilis* (Figura 34) es de 73.6%, el cual resultó ser el modelo predictivo con el promedio más bajo de omisión (26.4). Los que pudiera indicar que el modelo potencial de la especie no coincide con la distribución de la especie, debido a la información obtenida de las bases de datos o la falta de registros puntuales de la especie.

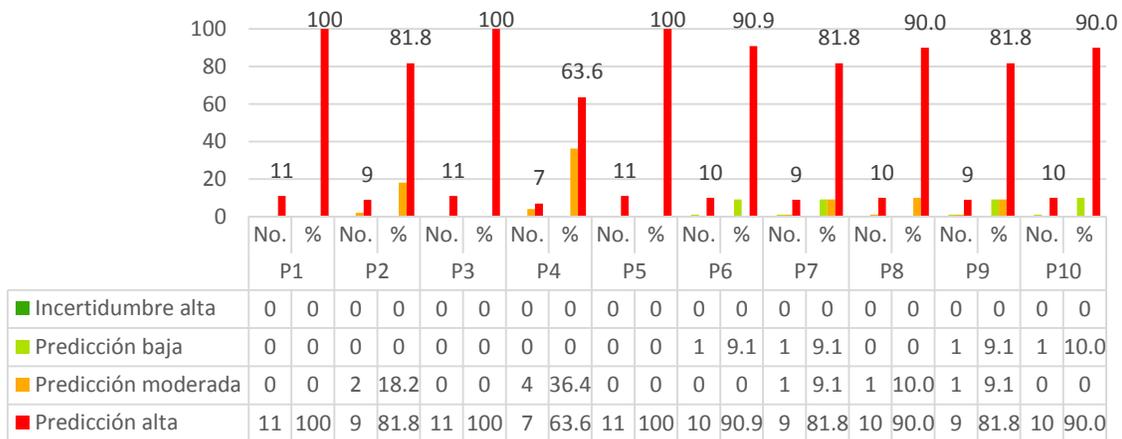


Figura 33. Resultados de los registros control de *Hyla plicata*.

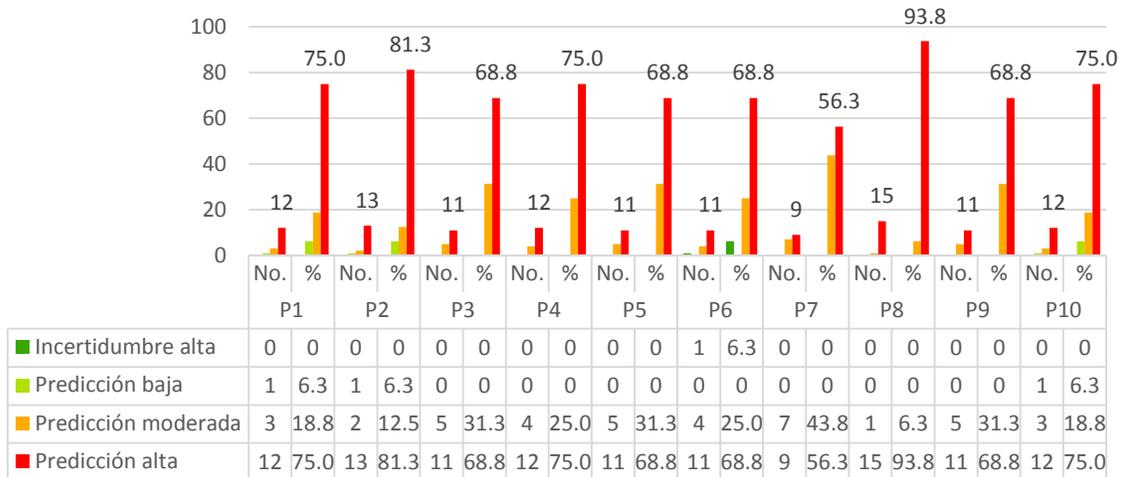


Figura 34. Resultados de los registros control de *Lithobates spectabilis*.

La validación de todos los modelos se realizó con el 30% restante de los registros puntuales de cada una de las especies. Para validar los modelos se utilizó el método de validación cruzada y a partir de estos se generó el modelo de predicción de cada uno de los anfibios. Los resultados de las tablas indican que las predicciones de los modelos son válidos.

VI.3 Predicción de zonas preferentes para los anfibios en la Reserva de la Mariposa Monarca

Las áreas de alta predicción de *Ambystoma rivulare* registradas en la *Figura 35*, destaca que sólo existe un 0.04% del total de la superficie de la reserva como área de alta predicción. Los resultados obtenidos de la superficie en área de amortiguamiento y la zona núcleo, evidencian que la zona de amortiguamiento tiene una mayor superficie de predicción en cualquiera de las tres categorías de predicción. Esto es muy importante debido a que la superficie principal de protección es la zona núcleo, dejando vulnerable la zona de amortiguamiento (*Figura 36*) donde se realizan actividades antropogénicas que puede afectar el hábitat de esta especie.

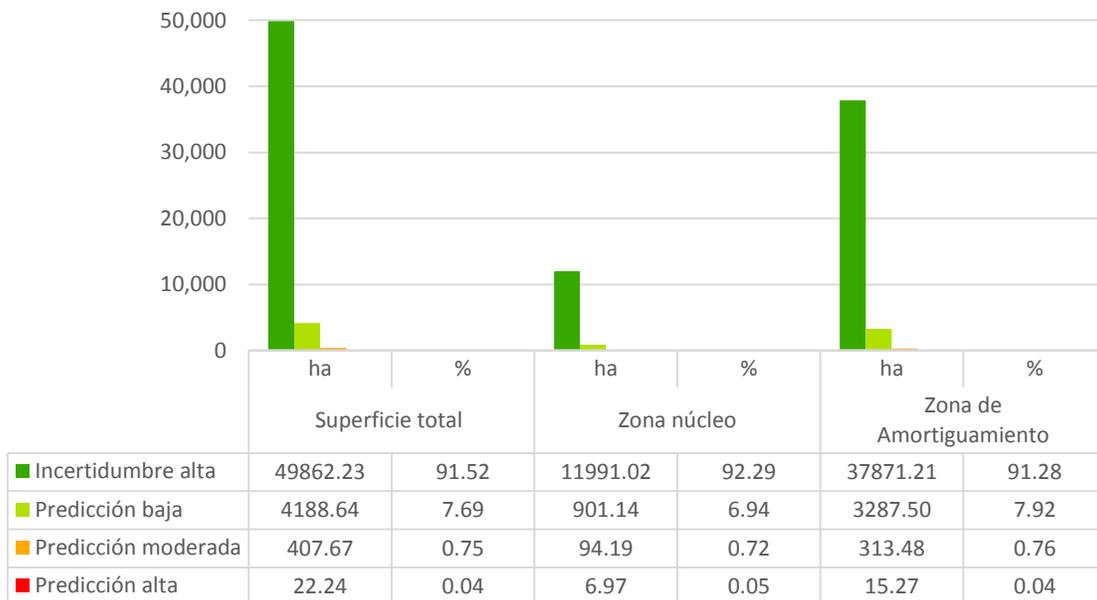


Figura 35. Superficie de predicción de *Ambystoma rivulare* en la RBMM.

De todos los modelos de especies de anfibios evaluados, el de *Ambystoma* es el que mantiene la menor superficie de predicción. La causa más evidente de las dos poblaciones dentro de la reserva es la antropización en sus principales áreas de distribución. El desarrollo turístico Sierra Chincua y las actividades de aprovechamiento en la Zona de amortiguamiento que sin duda son una amenaza para la existencia y la tendencia de sus poblaciones en la reserva. El mapa de distribución ha generado un modelo robusto con áreas de alta predicción que cumplen con los requisitos ambientales de esta especie y en las cuales no se ha determinado físicamente la presencia, pudiendo ser áreas de suma importancia para la conservación de esta especie, que se encuentra en la lista de especies y poblaciones prioritarias para la conservación (SEMARNAT b, 2014).

Entre los núcleos agrarios donde se registró una alta predicción están: la propiedad federal al norte de Cerro Prieto, Los Remedios, Santa Ana, Rosa de Palo Amarillo, San Jerónimo Pilitas, Concepción del Monte, El Rosario, Buenavista Casa blanca, Francisco Serrato, San Juan Palo Seco y El Depósito. De entre todos estos núcleos agrarios sólo Cerro Prieto y Francisco Serrato, hay registros de la presencia de *Ambystoma rivulare*. Sólo restaría agregar que hay que verificar la presencia y, de no encontrarse serían posibles sitios de introducción.

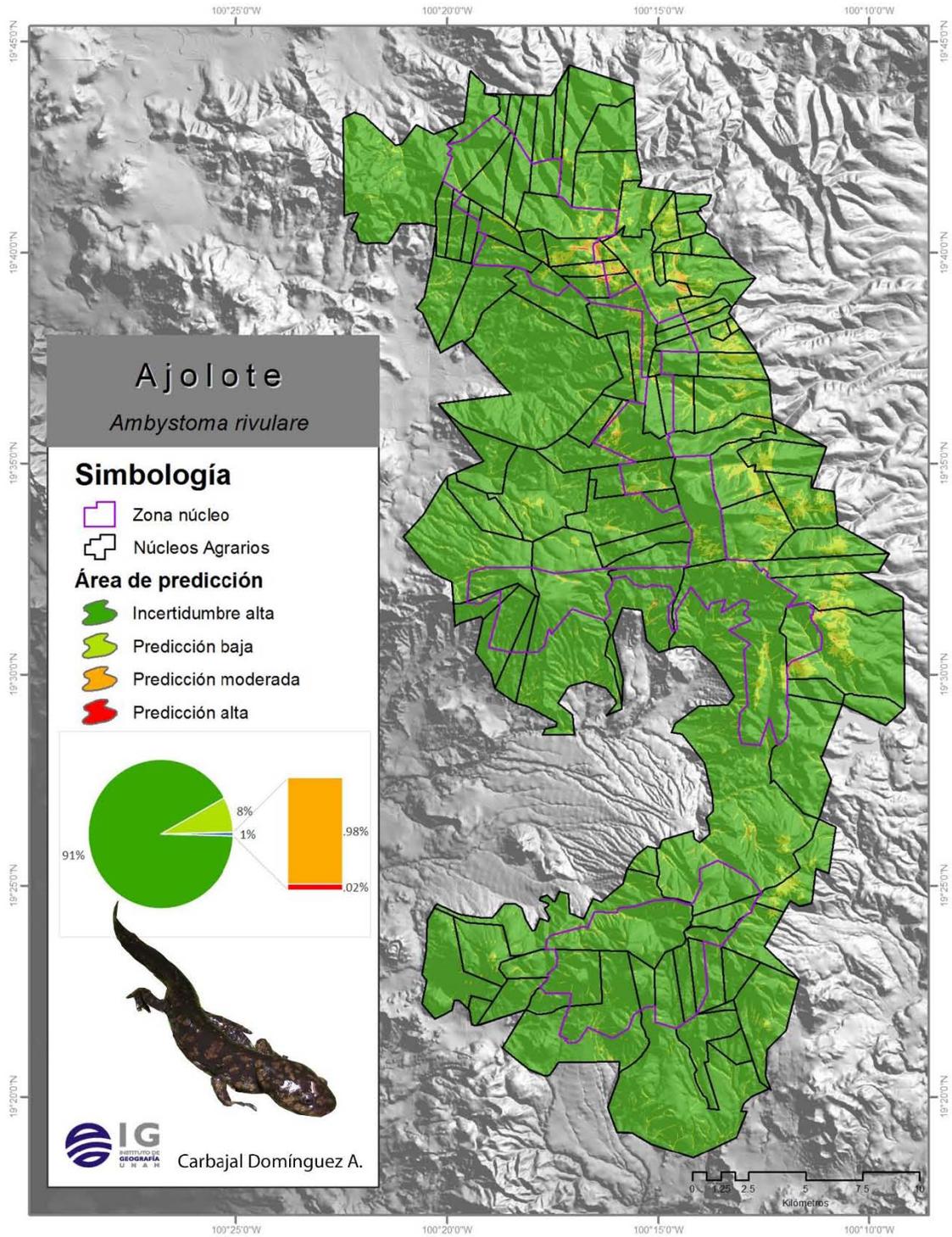


Figura 36. Mapa de predicción de *Ambystoma rivulare* en la RBMM.

Las salamandras terrestres del género *Pseudoeurycea* son organismos indicadores de la integridad de los ecosistemas forestales, debido a su longevidad (70 años aproximadamente), sus territorios de tamaño pequeño y su fidelidad al sitio, su sensibilidad a las perturbaciones naturales y antropogénicas (Hartwell, Welsh, & Droege, 2001). Actualmente existen más de seis especies del género de estas salamandras en la reserva, de las cuales sólo para este estudio se utilizaron tres especies debido a que no había suficiente información de colectas o registros de las demás especies.

Pseudoeurycea bellii es una salamandra que se encontró restringida a cierta altitud *Figura 40*. Como resultado importante, el área de alta probabilidad o mejor conservada para esta especie (*Figura 37*) solo es del 1.66 % del total de toda la superficie de la reserva. La zona de amortiguamiento presenta la mayor superficie en todas las categorías de predicción a diferencia de la zona núcleo. De las tres especies analizadas ésta es la que mantiene la menor área de alta predicción; esto se puede deber a que es una especie que mantiene un tamaño limitado de sus poblaciones, además de su preferencia a los bosques de coníferas y encinos (Parra-Olea G. , Wake, Hanken, & Ponce-campos, 2010).

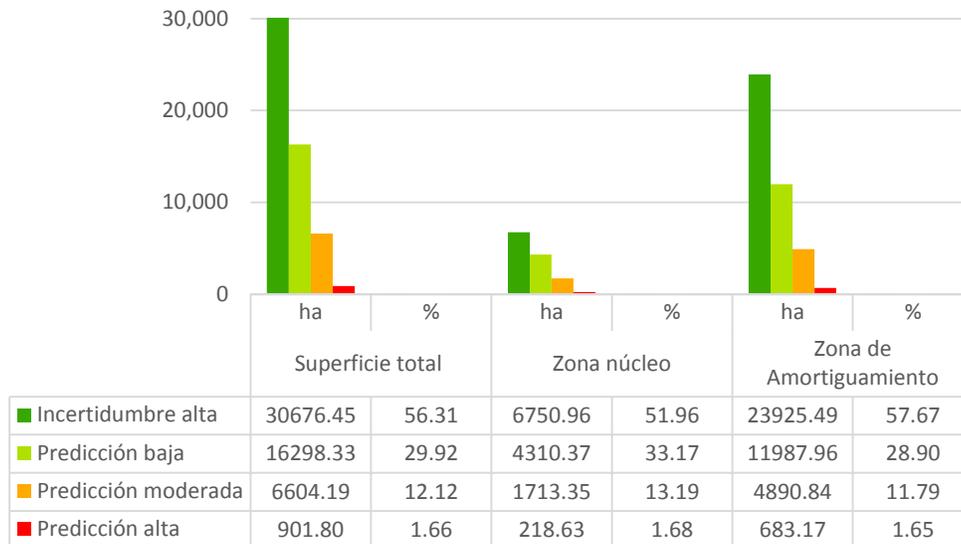


Figura 37. Superficie de predicción de *Pseudoeurycea bellii* en la RBMM.

Pseudoeurycea longicauda es una salamandra que se registró en diferentes altitudes, interactuando con las dos especies de este análisis. La superficie de mayor predicción que se presenta en la *Figura 38*, es de 7.93% de la superficie en toda la reserva. Eso coloca a esta salamandra con una representatividad intermedia. La zona núcleo presenta la mayor superficie de las categorías de predicción, lo que significa que esta área es la más representativa para esta especie. Esta salamandra prefiere áreas cubiertas por bosque, habitando troncos podridos, debajo de la corteza de árboles o bajo rocas (Parra-Olea & Wake, 2008). Como se observa en la *Figura 42*, esta salamandra se encuentra en la parte norte, centro y sur de la reserva, siendo la segunda salamandra con la mayor superficie en alta probabilidad.

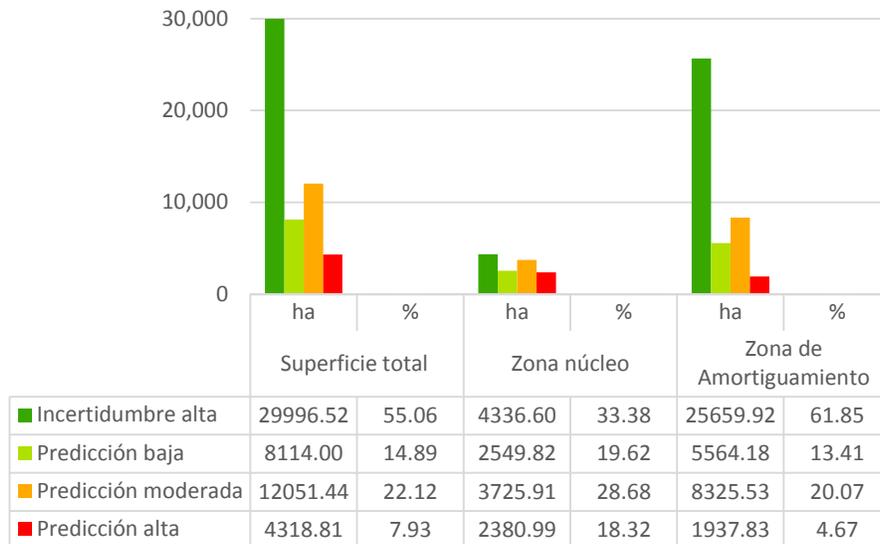


Figura 38. Superficie de predicción de *Pseudoeurycea longicauda* en la RBMM.

Pseudoeurycea leprosa (Figura 39) es la salamandra que cuenta con la mayor superficie de predicción apta en toda la reserva (17.48%). La mayor distribución se encuentra en la zona de amortiguamiento como se observa en la Figura 41, lo que implica que la superficie más importante para esta es el área de amortiguamiento. Generalmente el hábitat de esta salamandra está amenazado por la agricultura, la silvicultura y los asentamientos humanos, así como las actividades turísticas (Parra-Olea & Wake, 2014).

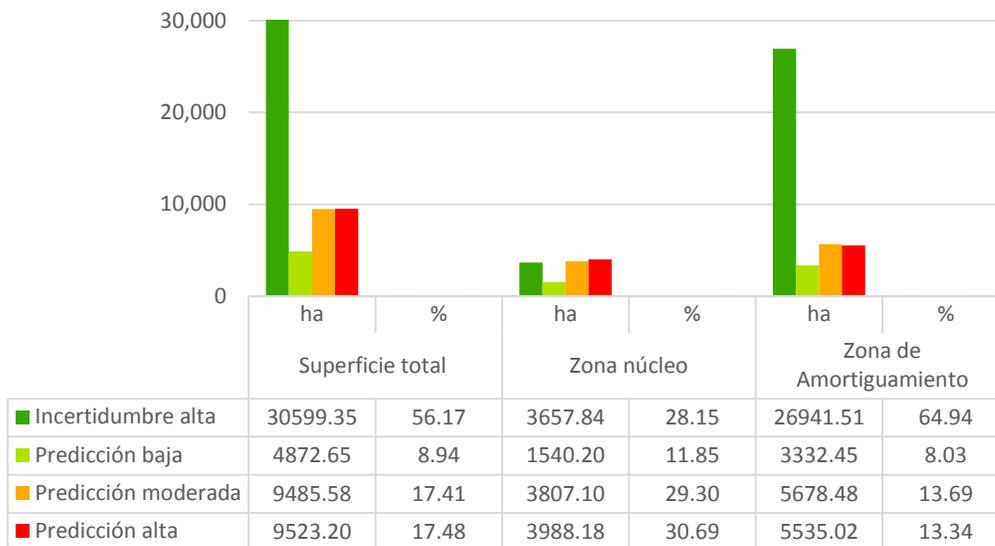


Figura 39. Superficie de predicción de *Pseudoeurycea leprosa* en la RBMM.

Las principales amenazas para estas especies de salamandras, es la destrucción de sus bosques en específico, los microhábitats donde se encuentran (bajo troncos, hojarasca o piedras) suelen ser perturbados. En conclusión, la falta de estudios acerca del estado de las poblaciones de estas especies, su dependencia a los bosques templados, así como el hecho de tratarse de especies endémicas de México y estar categorizadas como especies Amenazadas por la NOM-059-SEMARNAT-2010, son características importantes para el uso de estas especies como indicadoras de la conservación y de la calidad de los ecosistemas (Ramírez Bautista & Hernández Ibarra, 2004).

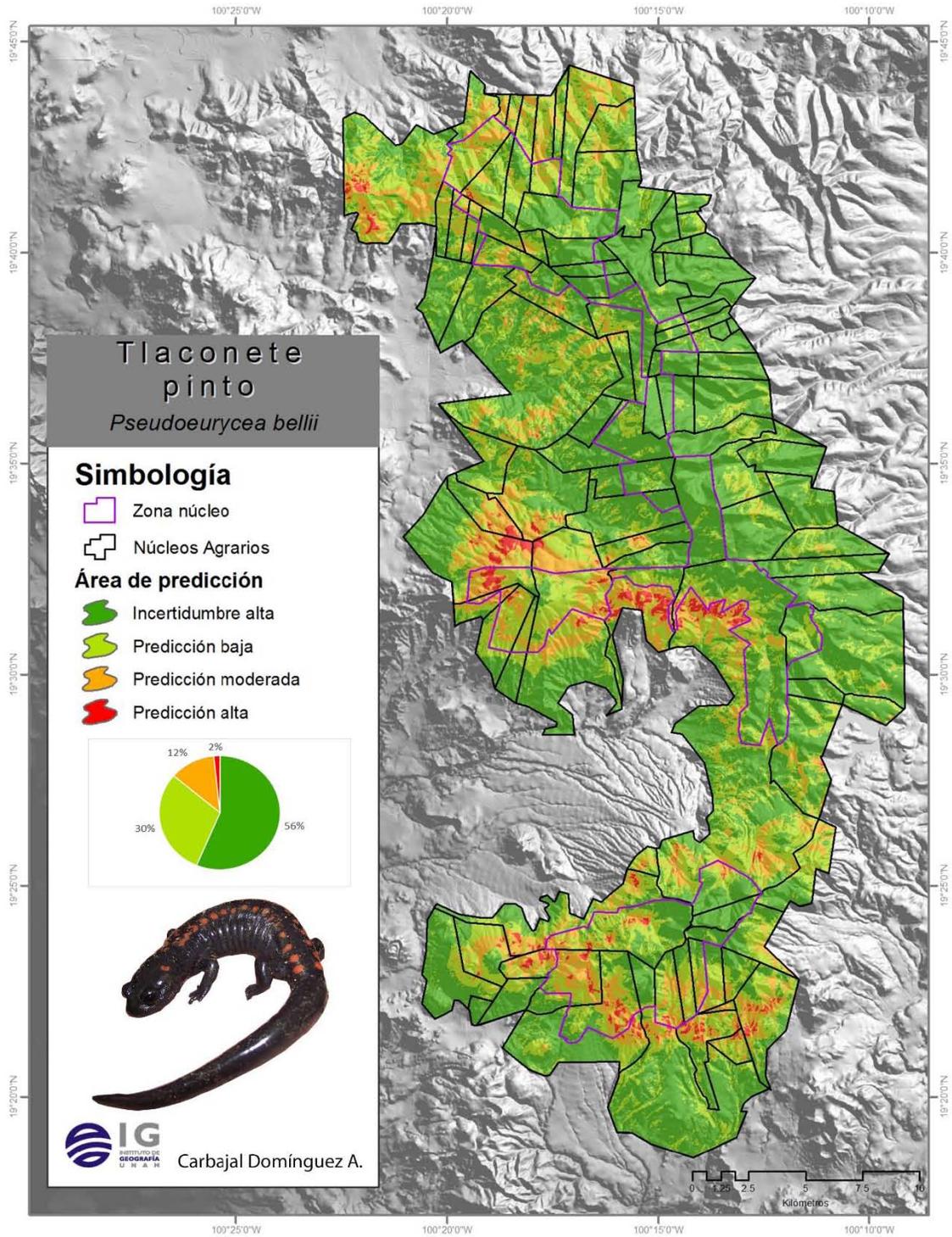


Figura 40. Mapa de predicción de *Pseudoeurycea bellii* en la RBMM.

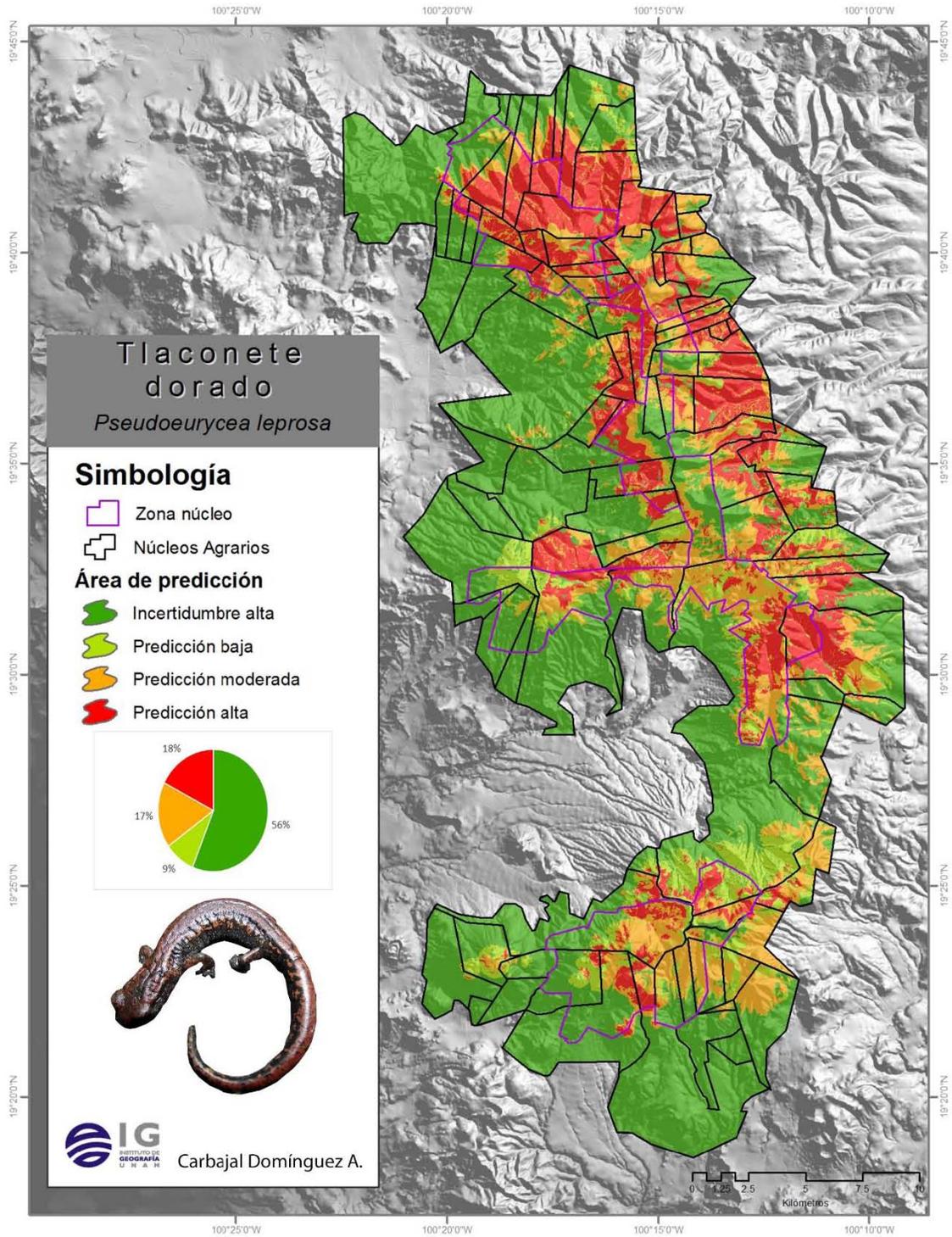


Figura 41. Mapa de predicción de *Pseudoeurycea leprosa* en la RBMM.

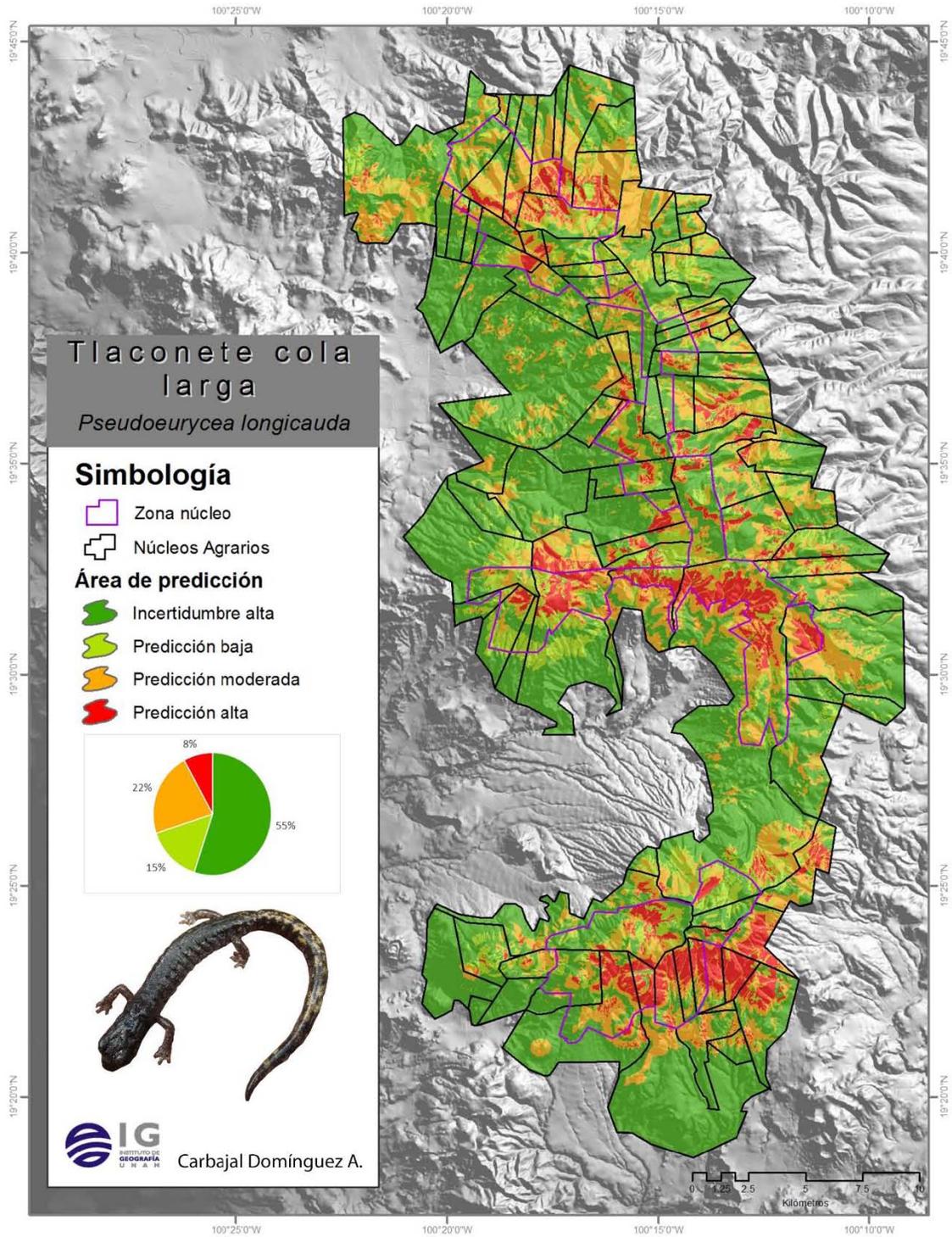


Figura 42. Mapa de predicción de *Pseudoeurycea longicauda* en la RBMM.

La especie *Hyla plicata* es una rana que se registró en Sierra Chincua, por lo cual dentro de la reserva se le puede caracterizar como una rana de alta montaña. Al igual que *A. rivulare* su área de alta predicción en toda la reserva es de 0.55% como se muestra en la Figura 43. Esta es la segunda especie con el hábitat conservado más restringido. La superficie de alta probabilidad de esta especie en zona núcleo es de 96.63 ha, mientras que la superficie en zona de amortiguamiento es el doble de la superficie. De acuerdo con reportes de CONABIO 2014 esta especie se le puede encontrar en áreas de bosque donde la vegetación es conservada. Sabiendo esto, *Hyla plicata* es la segunda especie más vulnerable en toda la reserva.



Figura 43. Superficie de predicción de *Hyla plicata* en la RBMM.

El mapa de predicción (*Figura 44*) con la alta probabilidad señala que esta especie se encuentra en la parte norte y centro de la reserva. Actualmente esta especie se

encuentra listada como especie amenazada de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010.

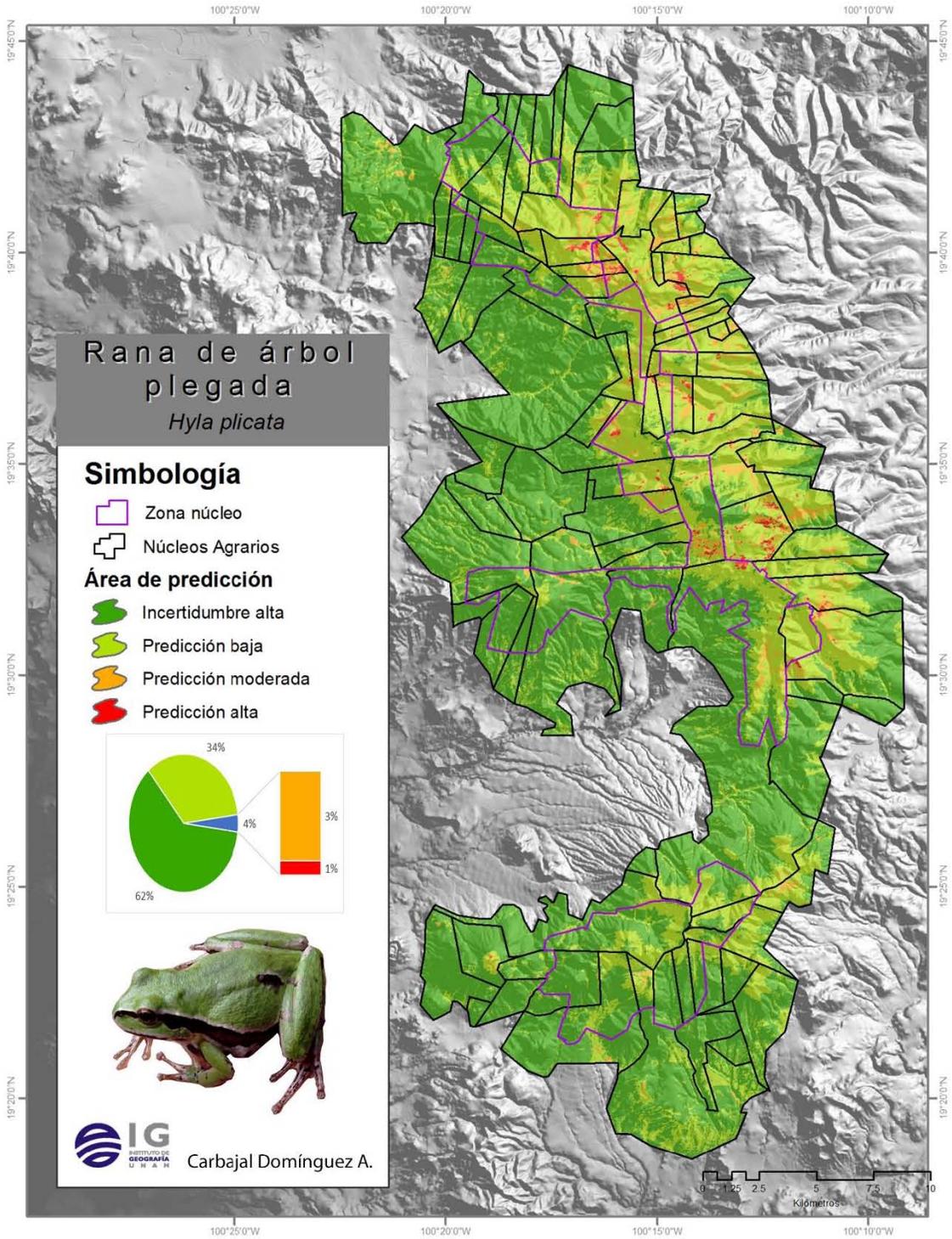


Figura 44. Mapa de predicción de *Hyla plicata* en la RBMM.

Lithobates spectabilis es una rana que se registró principalmente a pastizales y áreas de agricultura dentro de la reserva donde se localizan cuerpos de agua y corrientes permanentes disponibles. Esta rana se encuentra en altitudes bajas (Figura 46) que comprende los principales límites de la zona de amortiguamiento de la reserva. La superficie de alta predicción en toda la reserva de acuerdo con la Figura 45 es del 3.64%. Esta especie se encuentra a altitudes menores a los 2200 metros, la mayor superficie de predicción se encuentra en el área de amortiguamiento de la reserva. Debido a las características de esta especie y a las áreas donde se encontró una alta predicción, la protección de los bosques, pastizales, áreas de agricultura, y los sistemas de agua a lo largo de su área de distribución protegería el hábitat principalmente de esta especie nativa de México.

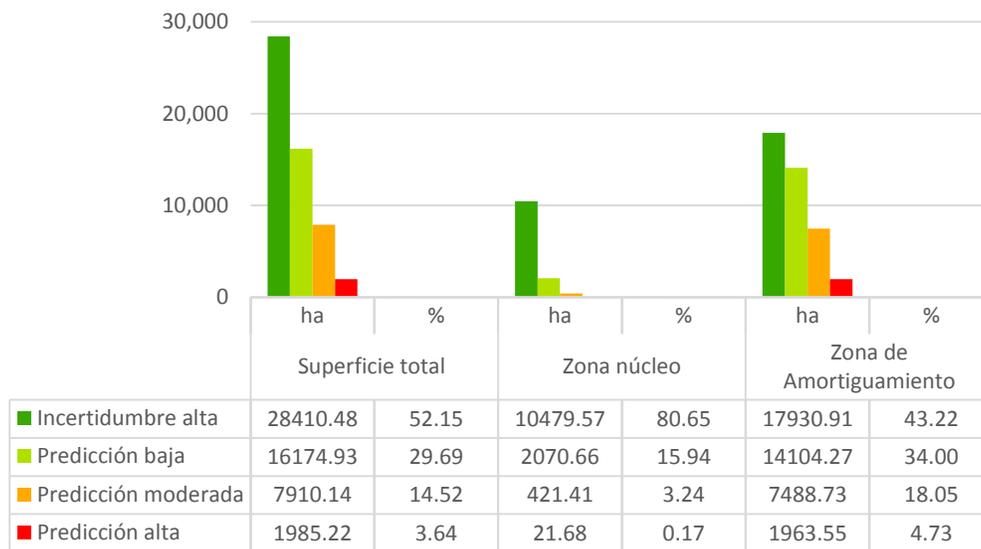


Figura 45. Superficie de predicción de *Lithobates spectabilis* en la RBMM.

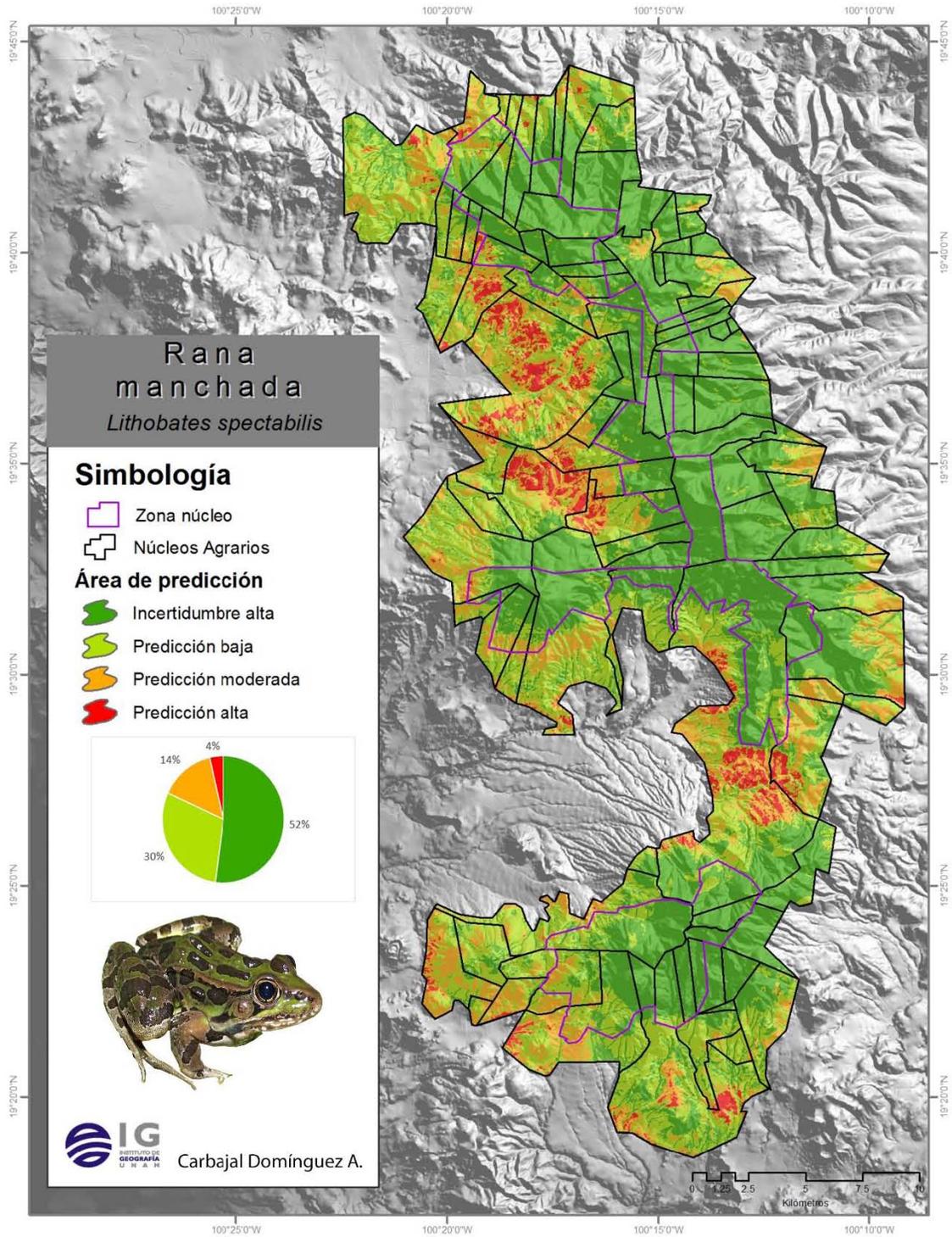


Figura 46. Mapa de predicción de *Lithobates spectabilis* en la RBMM.

VI.4 Especies compartidas en la reserva

Actualmente en la reserva se han registrado seis especies de anuros y seis salamandras. En este proyecto se generó la distribución potencial de seis especies, dos ranas (*Lithobates spectabilis* y *Hyla plicata*) y cuatro salamandras (*Ambystoma rivulare*, *Pseudoeurycea bellii*, *Pseudoeurycea leprosa* y *Pseudoeurycea longicauda*) que comparten su distribución en la reserva.

Los resultados indican que el máximo de especies que comparten una misma área dentro de la reserva son cinco, de acuerdo con los modelos de distribución potencial generados. La superficie total donde se comparten cinco especies (*Figura 47*) es de 0.11 hectáreas, donde se comparten cuatro especies es de 33.90 ha, seguido de tres especies con 2170.81 ha, donde se comparten dos especies es la mayor superficie dentro de la reserva, que abarca 13225.58 ha.

La asociación de cinco y cuatro especies resultó ser un importante hallazgo que implica una complejidad de grupos de anfibios dentro de la reserva. Esta conectividad representa el 0.002% y 0.09% en toda la reserva de acuerdo con la *Figura 46*. Por ello, y de cara las crecientes amenazas que enfrentan todos los anfibios en la reserva, es de suma importancia mantener esa conectividad vital. Se deben proteger y mantener el hábitat de calidad que garantice los beneficios ambientales de esas áreas de interacción. Entre las principales especies asociadas está la presencia de las salamandras terrestres y los anuros que comparten el bosque como un área común de resguardo para las ranas y como un hábitat permanente para las salamandras. *A. rivulare* e *H. plicata* fue una asociación muy importante dentro de la reserva ya que únicamente se registró en el Ejido Cerro

Prieto. Estas dos especies se encuentran asociadas principalmente a dos corrientes perennes en pastizal.

Como se aprecia en la *Figura 48*, la superficie con mayor riqueza de especies, la presenta la zona núcleo (tres especies), las áreas a las que se asocian los anfibios son principalmente aquellas que presentan una cobertura arbórea y de pastizal. Si se analiza toda la riqueza en la reserva, ésta representa una importante superficie para cada uno de los anfibios en casi la totalidad del área analizada. Aquellas áreas que no representan a ninguna especie se les podrían considerar como no aptas para los anfibios.

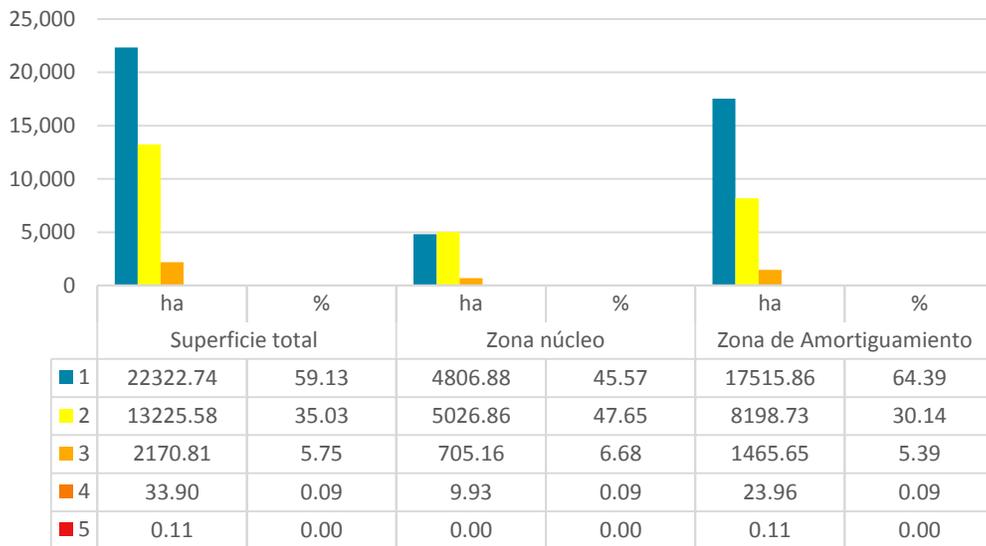


Figura 47. Superficie compartida por anfibios en la RBMM.

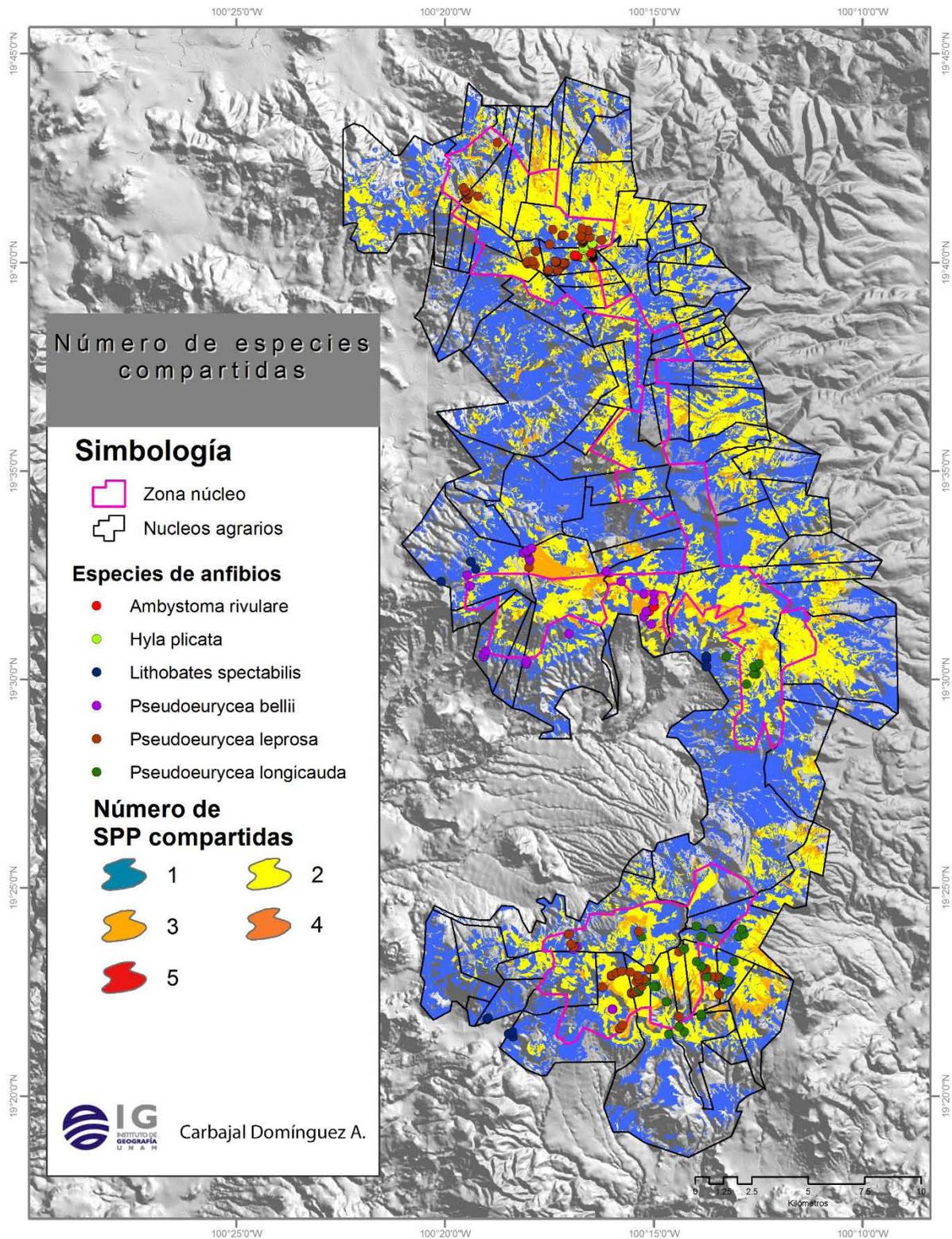


Figura 48. Número de especies compartidas en la RBMM.

VI.5 Superficie de Pago por Servicios Ambientales y la predicción de anfibios en la reserva

La superficie de PSA en un principio sólo correspondía a la zona núcleo de la RBMM. Esta área se ha aumentado a algunos ejidos de la zona de amortiguamiento, esto debido a que desde el año 2009 se han sumado otras instituciones además de Fondo Monarca. Esto ha generado una nueva estrategia de mecanismos que obedece a una visión de cuenca hidrológica o corredores biológicos, como áreas prioritarias para la conservación de los ecosistemas forestales. Tal es el caso del Sistema Cutzamala (SC), que integran el FM y Valle de bravo. Este sistema Cutzamala beneficia con agua a 4.23 millones de habitantes de la Zona metropolitana de la Ciudad de Toluca y de México.

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) ha asignado apoyos económicos en el territorio de Michoacán que incluye a la reserva, principalmente sólo el área que corresponde a la cuenca del Sistema Cutzamala, para la conservación, restauración, atención de cuencas prioritarias y desarrollo forestal. Por lo tanto, aquellos ejidos que no pertenecen a la cuenca SC y mucho menos que estén en zona de amortiguamiento, carecen de PSA para mantener su funcionalidad y el resguardo de la biodiversidad.

Como se observa en la *Figura 49* los núcleos agrarios que reciben PSA, no cubren en su totalidad la reserva, lo que generaría una importante interrupción en la funcionalidad de los servicios ambientales desde la parte alta hasta la parte baja de

las subcuencas ya que en esos ejidos no contemplan actividades de conservación y, por lo tanto, existe un aprovechamiento o actividades que ponen en riesgo su funcionalidad.

Otro punto importante que se ha podido obtener a partir de la misma figura, es la diferencia entre la superficie de importancia para los anfibios, que representan las áreas mejor conservadas para la calidad de los servicios ambientales y la ausencia de un PSA.

La superficie que se ha logrado contabilizar (*Cuadro 13*) y que cuenta con PSA en la zona núcleo, es aproximadamente de 9361.86 ha que es el 69.9%. Esto indica que un 31.1% de la superficie más importante de la reserva que es la zona núcleo se encuentra sin protección que garantice la funcionalidad de los servicios ambientales derivado de la ausencia de un PSA.

En cuanto la superficie de amortiguamiento que cuenta con PSA por parte del Sistema Cutzamala es de aproximadamente 25251.43 ha, lo que es igual al 60% de su superficie. Esta área como se demostró en los análisis anteriores es de suma importancia para más de una especie de anfibios. En total sólo el 66% de la reserva tiene PSA, lo cual deja vulnerable a la zona de amortiguamiento la cual tiene la mayor superficie dentro del ANP, y en la que se desarrolla actividades como la ganadería extensiva, agricultura, tala, resinación y degradación del bosque, lo que ocasiona un desequilibrio en la funcionalidad de los servicios ambientales que se rigen por cuencas hidrográficas.

Cuadro 13. Superficie con Pago por Servicios Ambientales y sin PSA en la reserva.

RBMM	Superficie		PSA		No PSA	
	ha	%	ha	%	ha	%
Zona Núcleo	13554.04	24.09	9361.86	69.07	4192.19	30.93
Zona de Amortiguamiento	42705.01	75.91	25251.43	59.13	17453.57	40.87
Total	56259.05	100	37294.72	66.29	21645.32	38.47

La superficie que se contabilizó y que es importante para los anfibios (*Cuadro 14*) es en total 69.91%. Si se compara con el cuadro anterior (*Cuadro 13*), la superficie que tiene PSA es de 66.29% y solo faltaría 4% para resguardar la superficie más importante para estos indicadores. Actualmente la superficie de amortiguamiento que también representa un porcentaje importante para los anfibios, solo cuenta con el 31.23% con PSA, lo deja un 66.45% de la superficie de amortiguamiento importante para los anfibios, sin este beneficio. Esto significa que dos terceras partes de la zona de amortiguamiento en reserva, presentan un grado de conservación importante para los anfibios y por lo tanto para la calidad y el funcionamiento de los Servicios Ambientales.

Cuadro 14. Superficie importante para los anfibios en la reserva.

RBMM	Superficie importante para Anfibios con PSA		Superficie importante para Anfibios sin PSA		Superficie total importante para los anfibios en la RBMM	
	ha	%	ha	%	ha	%
Zona núcleo	9361.86	72.21	1172.4	9.04	10534.26	81.25

Zona de amortiguamiento	13336.01	31.23	15048.44	35.24	28384.45	66.47
Total	22697.87	40.77	16220.84	29.14	38918.71	69.91

El cálculo obtenido de la superficie con PSA y el área que se sobrepone para los anfibios es solo el 40.77% (véase el cuadro anterior). Este resultado indica que los anfibios son un grupo muy vulnerable dentro de toda la reserva.

La superficie más importante para los anfibios, en la zona núcleo es del 81.25 %, lo cual es muy bueno ya que sólo restaría el 9.04 % para cubrir toda el área. Caso contrario es el la zona de amortiguamiento de la cual se requiere del 35.24% para tener una cobertura total de la reserva. Lo que implicaría que se mantendrían las áreas mejor conservadas para los anfibios y por lo tanto de calidad para los servicios ambientales.

En la Figura 49, se muestrea aquellas áreas que son importantes para los anfibios, pero que no presentan un PSA.

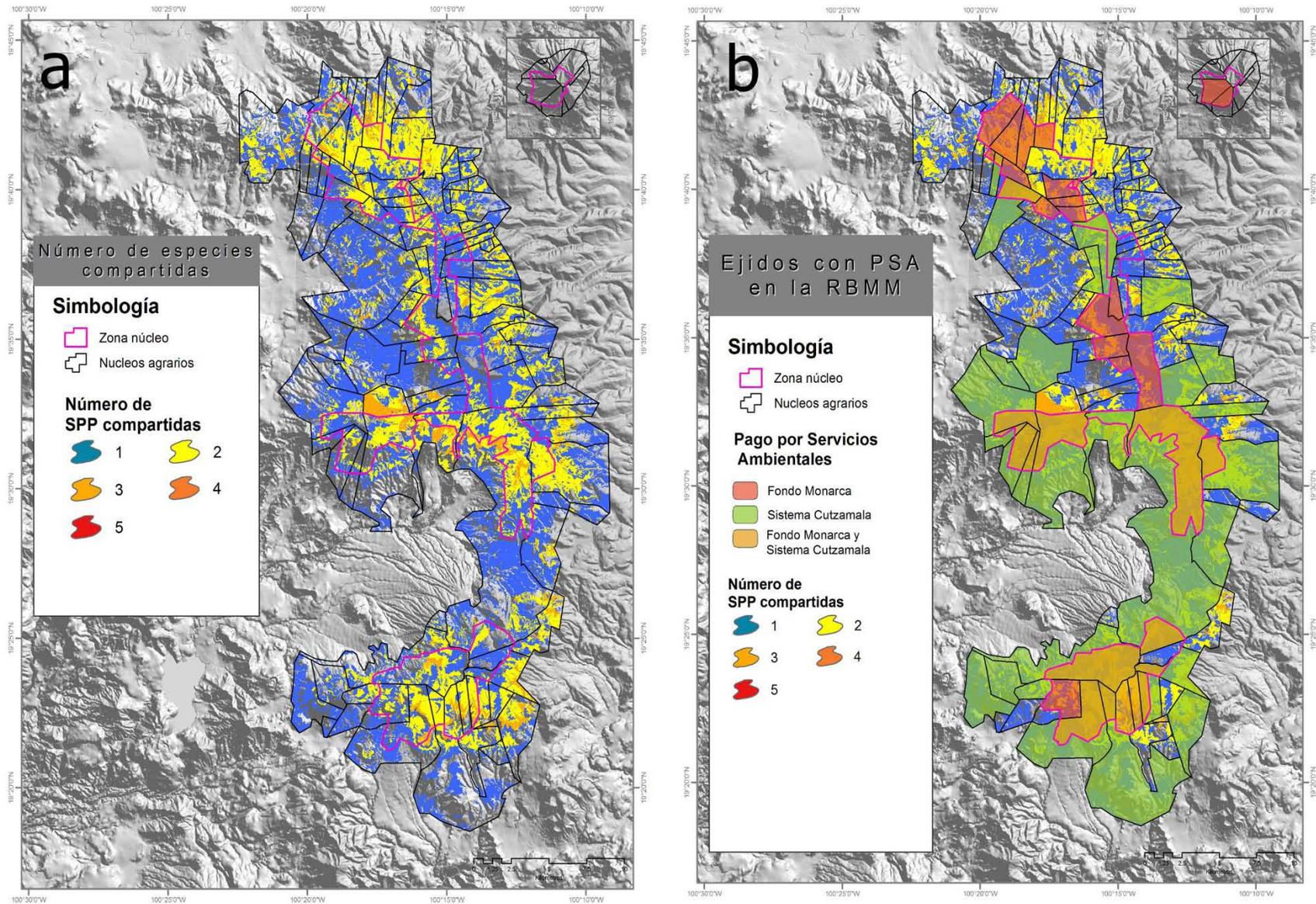


Figura 49. Mapa correspondiente al Pago por Servicios Ambientales y la superficie de predicción de anfibios.

VI.6 Áreas prioritarias para los Servicios Ambientales

Como se muestra en la siguiente figura, al sobreponer el mapa de la superficie de especies compartidas, que incluye únicamente las áreas ausentes de PSA y en el mapa de la cobertura forestal, se puede notar que las áreas más importantes para los anfibios son las que mantienen una cobertura forestal. Aquellas áreas que mantienen una cobertura son importantes, al resguardar la mayor riqueza de anfibios, y se pueden considerar como las áreas con mejor estado de conservación. Por lo tanto, el resguardar esas áreas, implicaría evitar el deterioro forestal que repercutirá en los servicios ambientales que brinda la vegetación.

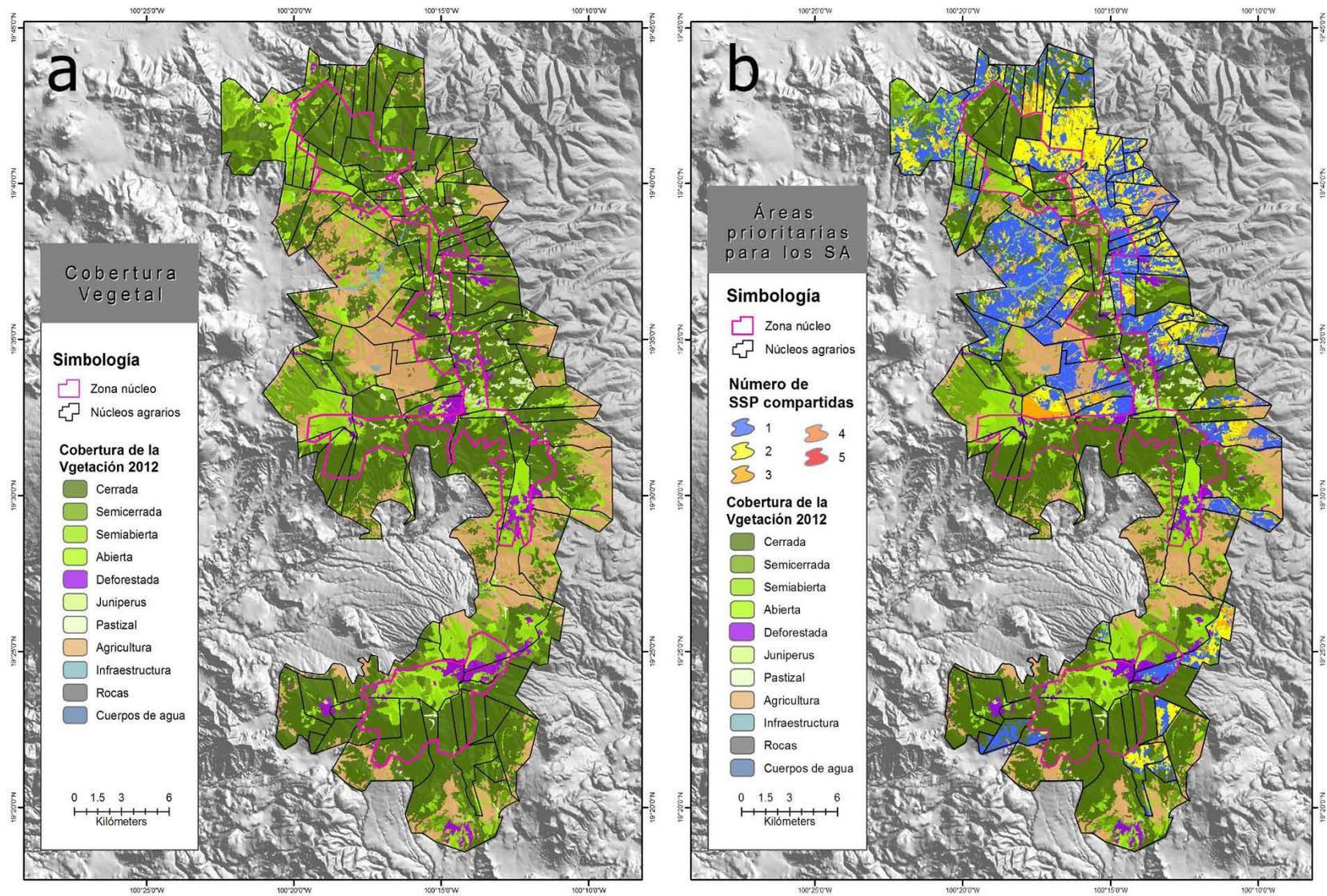


Figura 50. Asociación de las especies a la cobertura vegetal en áreas ausentes de PSA (a: mapa de cobertura forestal; b: especies compartidas sobre la capa de cobertura forestal).

En la siguiente tabla se muestra los ejidos, con prioridad de conservación, la cual se estableció con base a la riqueza y superficie de predicción. Como se puede observar, solo dos ejidos mantienen una superficie de predicción para 5 especies de las 6 modeladas; a estas áreas se les asignó la prioridad 1. Seguimiento de aquellas áreas que presenta cuatro especies, se les asignó la prioridad 2, la cual está integrada por 26 ejidos. La prioridad tres integra a los ejidos que presentan como máximo 3 especies, en esta categoría se encuentran 36 de los 71 ejidos que carecen de PSA. La prioridad cuatro presenta un total de 6 ejidos y la prioridad cinco presenta 1 ejido.

Cuadro 15. Ejidos prioritarios para su conservación de acuerdo a la riqueza de especies que presentan (el gradiente de color resalta la mayor superficie de distribución potencial de anfibios).

Núm.	Ejido	Zona	Número de especies compartidas entre la superficie de ocupación de cada zona (ha)					Superficie total (ha)	Prioridad
			1	2	3	4	5		
1	Buenavista Casablanca	8	235.66	133.69	30.08	4.43	0.1	403.96	P1
2	El Sauco y el Zopilote	23	229.61	108.66	9.59	0.48	0.01	348.36	P1
3	Pueblo de Anganguero	40	1645.95	286.56	63.59	0.04		1996.14	P2
4	El paso	20	82.81	143.12	203.9			429.83	P3
5	Los Remedios	32	10.44	30.98	9.8	0.37		51.6	P2
6	San Jerónimo Pilitas Dotación	60	191.56	102.51	9.83	0.37		304.27	P2
7	Propiedad Estatal 2 Zona núcleo	79	24.26	73.25	14.06	0.26		111.84	P2
8	San Jerónimo Pilitas	51	56.45	276.01	30.06	0.23		362.74	P2
9	San José Corrales	56	102.34	423.4	34.85	0.23		560.81	P2
10	Cerro Prieto	12	19.15	32.63	3.23	0.21		55.22	P2
11	Santa María y sus Barrios	63	138.01	223.1	47.47	0.2		408.79	P2
12	El Rosario Dotación	21	181.44	41.66	4.71	0.11		227.93	P2
13	Monte Catingo Fraccionamiento 1 zona núcleo	71	55.59	13.65	0.51	0.11		69.86	P2
14	Catingo Fraccionamiento 3	75	34.95	47.66	3.54	0.09		86.24	P2
15	Propiedad Privada 3	37	632.75	330.94	44.46	0.05		1008.2	P2
16	El Gavilán	19	40.87	26.18	1.74	0.01		68.8	P2
17	Catingo Fraccionamiento 4 Zona núcleo	70	40.07	3.06	0.19	0.01		43.34	P2
18	Rancho Mayo fraccionamiento 3	44	102.16	64.43	2.7	0.01		169.3	P2
19	El Asoleadero ampliación	17	99.43	12.73	3.02	0.01		115.18	P2

20	San Francisco de los Reyes	54	179.71	242.24	17.08	0		439.03	P2
21	Catingo Rancho de Guadalupe	10	27.88	21.49	1.39	0		50.76	P2
22	Rosa de Palo Amarillo	49	310.32	171.38	28.59	2.13		512.42	P2
23	Tupataro	65	39.33	73.9	53.16			166.4	P3
24	Ocampo 2	35	113.79	43.84	42.77			200.4	P3
25	San Felipe de Jesús	55	102.97	63.9	27.44			194.31	P3
26	Propiedad Privada 2	36	149.28	48.52	13.5			211.29	P3
27	Litigio 2	30	2.97	8.59	11.99			23.55	P3
28	Rosa azul	48	110.36	51.84	10.48			172.67	P3
29	Ampliación Angangueo	3	193.02	50.66	9.59			253.27	P3
30	Chinca o Ejido Emiliano Zapata	13	39.45	52.87	8.81			101.13	P3
31	Fraccionamiento Corral Viejo	26	93.71	131.59	7.49			232.79	P3
32	1a Fraccionamiento Calabozo	1	66.89	32.6	7.07			106.56	P3
33	Rincón de Soto	46	57.47	20.9	6.26			84.63	P3
34	La Palma	28	91.38	114.59	6.16			212.13	P3
35	Francisco Serrato 2	25	172.65	68.87	5.15			246.67	P3
36	El Rosario Dotación 2	22	367.69	27.44	3.9			399.03	P3
37	Angangueo Dotación	5	110.4	76.63	3.04			190.07	P3
38	Rancho Verde Zona núcleo	72	77.75	17.43	2.92			98.1	P3
39	Santa Ana	52	28.59	46.6	2.29			77.48	P3
40	Concepción del Monte	14	97.38	42.19	2.06			141.63	P3
41	Arroyo Seco	7	30.18	23.34	1.56			55.07	P3
42	2a Fracción Calabozo	2	22.86	9.72	1.48			34.07	P3
43	Rancho Mayo fraccionamiento 1	43	49.43	48.42	0.87			98.72	P3
44	Villa de Allende Dotación	67	102.97	16.91	0.73			120.62	P3
45	Propiedad Federal	81	1.62	4.36	0.67			6.65	P3
46	Rosa de Palo amarillo 3	50	45.05	13.14	0.58			58.77	P3
47	Caringo Rancho Guadalupe 2	9	3.93	18.16	0.34			22.43	P3
48	Litigio Zona núcleo	74	149.15	6.6	0.27			156.02	P3
49	Rancho Chocua	41	54.36	54.07	0.26			108.68	P3
50	Catingo Fraccionamiento 3 Zona núcleo	69	59.36	4.45	0.17			63.98	P3
51	El huizache	24	34.97	44.37	0.14			79.48	P3
52	Pendiente	38	21.1	22.6	0.14			43.84	P3
53	San Juan Zitácuaro 2	58	36.15	14.94	0.1			51.19	P3
54	Ocampo 1	34	213.23	19.08	0.08			232.38	P3
55	Jesús de Nazareno	27	26.42	2.06	0			28.49	P3
56	Villa de Allende	66	130.97	5.5	0			136.47	P3
57	San Jerónimo Toltepec	59	54.43	31.72	0			86.16	P3
58	Monte Catingo Fraccionamiento 1	77	85.15	81.29	14.68	1.84		182.96	P2
59	Rincón de los Ahorcados	45	159.16	0.17				159.33	P4
60	Rosa de Palo Amarillo 2	78	122.91	0.6				123.51	P4

61	Rosa de Palo Amarillo 2 Zona núcleo	73	31.43	3.67				35.1	P4
62	Rondilla	47	87.76	6.68				94.44	P4
63	Nicolás Romero	33	71.08	6.95				78.03	P4
64	Rancho Mayo fraccionamiento	42	56.55	30.44				86.99	P4
65	Aputzio de Juárez	6	37.11					37.11	P5
66	Los Lobos	31	115.78	77.24	12.65	1.56		207.22	P2
67	Ampliación Concepción del Monte	4	153.58	96.16	9.79	0.97		260.5	P2
68	La mesa ampliación dotación	29	197.81	111.73	6.41	0.74		316.68	P2
69	Catingo Fraccionamiento 4	76	35.65	27.49	5.94	0.74		69.82	P2
70	Propiedad Federal Zona núcleo	80	202.65	363.22	21.25	0.52		587.64	P2
71	San Juan Palo Seco	57	311.89	129.28	33.26	2.66		477.09	P2

Como se muestra en la siguiente Figura 51, la prioridad tres de conservación para los servicios ambientales representa el mayor número de ejidos, con una superficie de predicción de 3 especies. En cuanto a los ejidos con prioridad 2 estos representan el segundo grupo más abundante. Únicamente los ejidos Buenavista Casablanca, El Sauco y El Zopilote obtuvieron la prioridad 1, por lo que serían los ejidos más importantes en cuanto a riqueza de especies potenciales y para los servicios ambientales.

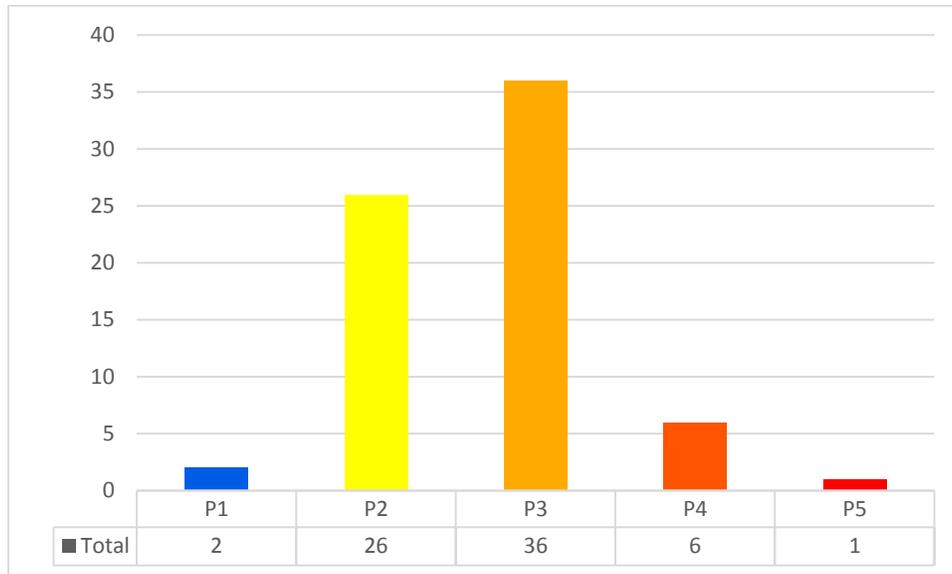


Figura 51. Número de ejidos con prioridad de conservación.

A continuación se presenta el análisis espacial de acuerdo a la prioridad de conservación para los servicios ambientales, de cada uno de los ejidos que no cuentan con PSA (Figura 52). Como se puede observar hay ejidos en zona núcleo que están catalogados con la prioridad 2. La zona de amortiguamiento presenta dos ejidos con prioridad uno.

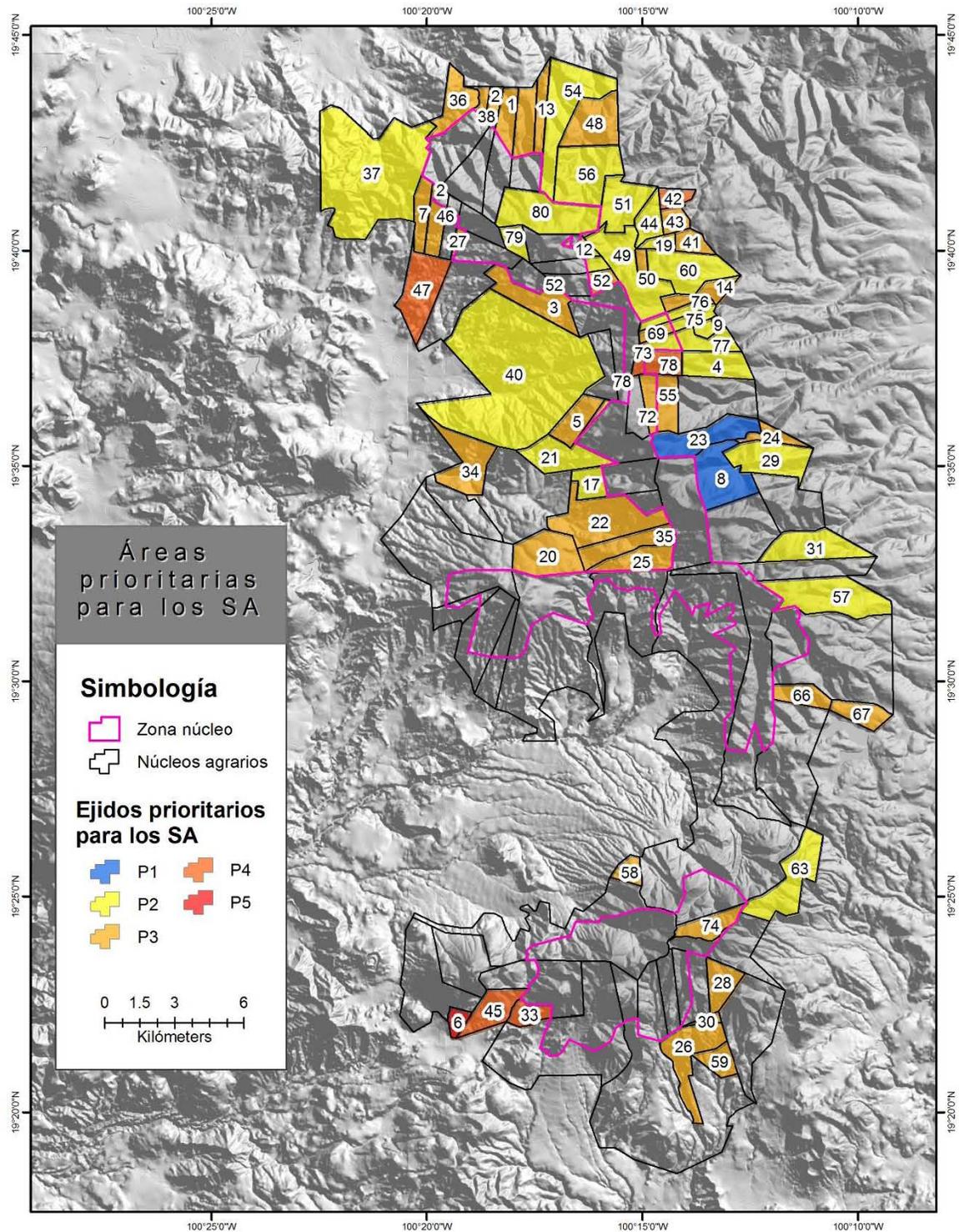


Figura 52. Mapa de prioridad de conservación para los servicios ambientales (El número corresponde a la zona asignada para cada ejido de acuerdo con el cuadro 15).

VI.7 Información de los anfibios en los Ejidos: Cerro Prieto, El Capulín, San Cristóbal y Senguio.

Como parte del trabajo de campo, se aplicó una entrevista a los habitantes de los ejidos donde se realizó el muestreo. Esto tuvo como objetivo principal la extracción de información y conocimiento de los anfibios, y su relación o presencia en la reserva. Dicha entrevista se diseñó para abarcar aspectos relacionados con:

- El conocimiento de los anfibios
- La diversidad de especies
- El hábitat de los anfibios
- La importancia de éstos
- Relación con los servicios ambientales

De acuerdo con la información obtenida se obtuvieron 43 entrevistas, incluyendo a la Directora de la Reserva Gloria Talavera (*Figura 53*). En cada uno de los ejidos predominan las encuestas realizadas al sexo masculino. Los resultados obtenidos sobre el conocimiento de los anfibios muestran que la mitad (53%) de los habitantes sabe que es un anfibio y la otra mitad (47%), desconoce o los confunden con los reptiles. En cuanto al número de especies que conocen los habitantes de la reserva en el caso de las ranas (anuros), el 5% de los entrevistados no conocen ninguna especie, el 26% conocen una especie, el 53% conocen dos especies, el 14% conocen tres especies y un habitante (2%) dice conocer hasta 5 especies de ranas. Lo cierto es que hasta la fecha se han registrado un total de siete especies anuros

(Cuadro 16), de ellos se encuentran cuatro amenazados a nivel nacional y dos a nivel internacional.

Las salamandras (caudados) son el grupo menos conocido; el 19% de los entrevistados desconocen qué son o no han visto ninguno. El 49% sólo conocen una especie, el 21% conoce dos especies, el 5% conocen tres especies y otro 5% conocen cuatro especies de salamandras. Actualmente se han descrito un total de seis especies de salamandras. Las salamandras suele ser el grupo más vulnerable (Cuadro 16) y actualmente todas las especies de la reserva se encuentran en categoría de amenazadas a nivel nacional e internacional. En este último año se decretó que *Ambystoma rivulare* es una especie que se encuentra en prioridad de protección (SEMARNATb, 2014).

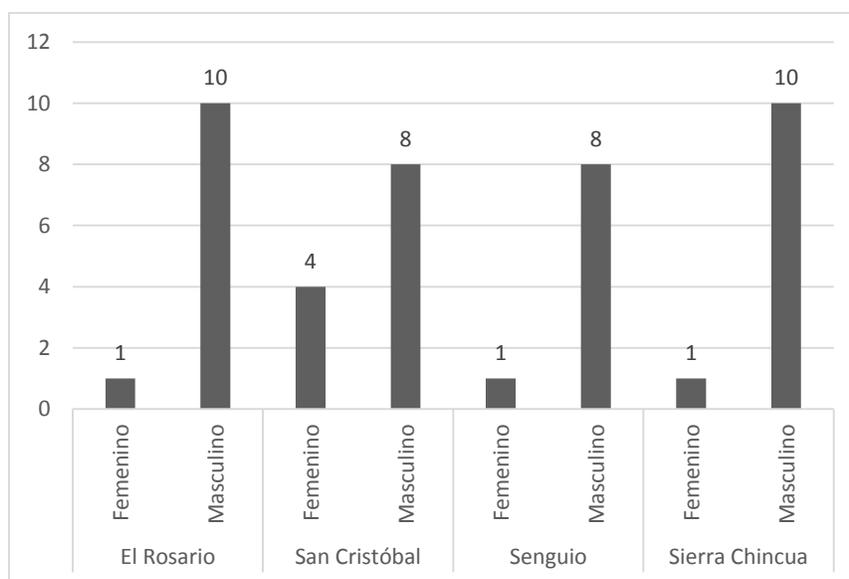


Figura 53. Número de habitantes encuestados en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca.

Cuadro 16. Categoría de conservación de los anfibios en la Lista roja (2014) y la Normal 059.

ORDEN	Familia	Especies	Autor	NOM-059-2010, SEMARNAT	Lista roja, IUCN
CAUDATA	Ambystomatidae	<i>Ambystoma rivulare</i>	Taylor, 1940	Amenazada (Prioritaria de conservación)	Datos deficientes
	Plethodontidae	<i>Pseudoeurycea bellii</i>	Gray, 1850	Amenazada	Vulnerable
		<i>Pseudoeurycea cephalica</i>	Cope, 1865	Amenazada	Casi amenazado
		<i>Pseudoeurycea gigantea</i>	Taylor, 1939	Desconocido	Peligro crítico
		<i>Pseudoeurycea leprosa</i>	Cope, 1869	Amenazada	Vulnerable
		<i>Pseudoeurycea longicauda</i>	Lynch, Wake & Yang, 1983	Amenazada	
ANURA	Craigastoridae	<i>Craugastor augusti</i>	Dugés, 1879	Ninguna	Preocupación menor
		<i>Craugastor hobartsmithi</i>	Taylor, 1936	Amenazada	En peligro
	Hylidae	<i>Hyla eximia</i>	Baird, 1854	Ninguna	Preocupación menor
		<i>Hyla plicata</i>	Brocchi, 1877	Amenazada	Preocupación menor
		<i>Plectrohyla bistrincta</i>	Cope, 1877	Sujeto a protección especial	Preocupación menor
	Ranidae	<i>Lithobates neovolcanicus</i>	Hillis and Frost, 1985	Amenazada	Casi amenazado
		<i>Lithobates spectabilis</i>	Hillis and Frost, 1985	Ninguna	Preocupación menor

El 100% de los habitantes saben dónde viven las ranas, en cuanto a las salamandras sólo el 87% sabe donde habitan estos anfibios. Los lugares que mencionaron para el caso de las ranas son en escurrimientos de ojos de agua, zanjas inundadas por la lluvia, charcas, en los pastizales, zonas húmedas en el bosque y en zonas abandonadas. Otras áreas donde se registraron a los anfibios, fueron en zonas aledañas, principalmente de agricultura y los canales de riego que

utilizan para sus cultivos. Estos lugares, sin duda, se asocian con la presencia de agua y también con la presencia de los habitantes.

El hábitat, principal para las salamandras son el bosque, a excepción de *Ambystoma rivulare* que habita principalmente en los cauces de ríos, y en los pastizales de alta montaña en la reserva. Otros hábitats que mencionaron, son los troncos de árboles en descomposición, debajo de rocas, en zonas con mucha humedad como por ejemplo casas abandonadas y leña.

Sin duda mucho o poco que sea el juicio de los anfibios en la reserva, los habitantes, tienen conocimiento y creen saber para qué están en la reserva. Entre los muchos comentarios que se pudieron recabar sobre la utilidad o importancia de estos organismos en la reserva es que:

“Son para que se vea bonita”

“Para que la reserva produzca más agua”

“Son parte de la vegetación, un bosque sin animales no es bosque”

“Tienen la función de comer plagas, mantienen un equilibrio”

“Para que no se vaya el agua”

“Para mantener limpia, el agua”

“Dónde están estos organismos, hay agua”

Los comentarios obtenidos representan lo importante que es para las personas la presencia de los anfibios en la reserva, y no están lejos de la verdadera importancia

de estos organismos en los ecosistemas. Actualmente están bien definidos tres beneficios de conservar los anfibios (Moreno & Rodríguez, 2013) :

1. Son elementos claves de la cadena trófica. Son especies presa porque sirven de alimento a otros animales y son también depredadores, porque se alimentan de diversos tipos de insectos. Esto hace que tengan una función muy importante controlando plagas, lo que resulta de gran utilidad para los sectores agrícola y forestal.
2. La vulnerabilidad ante los cambios ambientales, por la complejidad de su ciclo vital y la permeabilidad de su piel, los convierte en perfectos bioindicadores de la salud de los ecosistemas, y concretamente, de la calidad de aguas.
3. También destaca su utilidad para la medicina, ya que muchas especies producen sustancias a través de su piel para defenderse de virus, bacterias y hongos que pueden emplearse como antibióticos de gran interés para el ser humano.

Por último, al conocer y entender que es un anfibio y su relación con la reserva, determinaron que estos organismos sin duda están relacionados con los servicios ambientales (conservación del bosque y agua), al ser indicadores del estado de la salud del ecosistema y la calidad de éste. Actualmente, existen amenazas directas o indirectas (contaminación del agua, degradación del bosque, extracción de estos organismos, ganadería y agricultura) dentro de la reserva, principalmente en la zona de amortiguamiento donde existe un aprovechamiento forestal sostenible, que

únicamente tiene función de disminuir las presiones humanas sobre el hábitat de hibernación de la mariposa monarca (López-García, 2011).

Si no se actúa a tiempo en la reserva, y no se toman medidas que resguarden el hábitat de los anfibios como indicadores de la salud de los ecosistemas, se estaría tratando de proteger un hábitat que tiene amenazas no sólo para los anfibios sino para el resto de la biodiversidad incluyendo a la mariposa monarca.

VII. DISCUSIÓN

VII.1 Análisis multicriterio y pesos de evidencia

El análisis multicriterio (AMC) y los pesos de evidencia (PE) aplicados en la conservación de la naturaleza. Las estrategias de conservación han sido desarrolladas, a partir de la preservación de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), las cuales se caracterizan por tener una serie de atributos, de importancia económica, social, territorial, y en estos últimos años de servicios ambientales. En este proyecto se utilizó el AMC y PE, para identificar áreas aptas para los servicios ambientales hidrológicos, utilizando a los anfibios como indicadores, de la calidad de los ecosistemas, principalmente el agua, dentro de una ANP. La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca cubre 56,259 hectáreas en el límite de los Estados de México y Michoacán. Está conformada por una zona núcleo y su zona de amortiguamiento, que es tres veces más grande.

Como parte fundamental de la investigación era necesario conocer la importancia de la zona de amortiguamiento. En esa superficie se permite el aprovechamiento forestal sostenible, cuya función es disminuir las presiones humanas sobre el hábitat de hibernación de la mariposa monarca, descuidando y degradando el hábitat para el resto de la biodiversidad que alberga la reserva. Los anfibios son el grupo animal más amenazado del planeta de acuerdo con la Unión Internacional de la Naturaleza (UICN); por ello se eligió a estos organismos, como indicadores de la integridad de la ANP.

Los requerimientos de los anfibios, como sus ciclos de vida complejos, hacen que requieran de un hábitat tanto acuático como terrestre en perfecto estado de conservación. Las actividades humanas dentro de la reserva están poniendo en riesgo el hábitat de estos organismos que depende de la provisión de los servicios ambientales del área. El AMC y los PE, proporcionaron un criterio de áreas de conservación prioritarias dentro de la reserva para los anfibios. Los modelos obtenidos de las seis especies utilizadas para identificar dicha superficie, determinaron que la mayor área de ocupación en la actualidad, es la zona de amortiguamiento, esto debido a las características geográficas de la reserva y los requerimientos del hábitat de los anfibios.

Los modelos obtenidos de cada una de las especies, identificaron a aquellas áreas que tienen una distribución en toda la reserva o que están muy restringidas como en el caso de *Ambystoma rivulare* e *Hyla plicata*. Estas dos especies se muestrearon únicamente en Sierra Chincua, pero el modelo predice áreas de distribución potencial para estas especies, donde no se tienen registros o probablemente no han sido muestreadas. El poder verificar esas áreas de distribución potencial, servirían para la validación del modelo, además de seleccionar futuras áreas de introducción, debido a que actualmente se encuentran amenazadas y el riesgo de desaparecer es muy alto, además, como se mencionó, la mayor superficie apta para estos anfibios se encuentra en la zona de amortiguamiento.

Con respecto a los usos de análisis multicriterio y los pesos de evidencia, el primero ayudó a darle un peso más significativo a los capas de información geográfica, para

cada uno de los anfibios, debido a que el criterio de los expertos es indispensable al momento de considerar qué capas tienen más importancia o considerar otras para obtener un mejor resultado en la predicción de las áreas prioritarias de los anfibios.

El reciente uso del análisis de pesos de evidencia, en la predicción del hábitat animal, se ha utilizado en el pronóstico de las áreas de anidación de pájaros carpintero y las áreas preferentes de recolecta de trufas entre otras aplicaciones. Esta herramienta fue importante en los modelos de áreas para los anfibios, ya que se basa en el análisis espacial de la presencia de las especies, para asignarle un peso a cada categoría dentro de las capas de información geográfica; esto discrimina aquellas categorías de la capa que no son importantes o que no tienen un peso evidente para cada una de las especies.

El resultado obtenido de los pesos asignados para cada una de las capas de información geográfica del análisis multicriterio y los pesos de evidencia de cada una de las categorías de las capas de información geográfica, ayudó a obtener un resultado de la superficie de predicción de anfibios más confiable. Los modelos para cada una de las especies se replicaron diez veces con 70% de los puntos de colecta y el otro 30% para verificarlos. Esto permitió seleccionar los modelos de cada una de las especies con la mayor aptitud para obtener un modelo promedio de cada una de las especies y, al final, generar una intersección de todas las especies, que resalta la superficie más importante de conservación. Pero a pesar de los resultados obtenidos, no se puede olvidar que una de las grandes limitaciones de los S.I.G. es la falta de información y disponibilidad de la cartografía a escala adecuada.

VII.2 El pago por servicios ambientales en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca

El PSA en la reserva sólo ha beneficiado a la zona núcleo y algunos ejidos de la zona de amortiguamiento. Esto ha originado que aquellas áreas que no tienen un incentivo, pero que de igual forma contribuyen a los servicios ambientales, además de ser un hábitat para la biodiversidad, sean degradadas e inclusive deforestadas. Por ello, se generó el modelo de las áreas de distribución de anfibios, para determinar la importancia de la zona de amortiguamiento, e incentivar el PSA a toda la reserva. Los resultados obtenidos demuestran que sólo resta un 38%, para tener toda la reserva con pago servicios ambientales. Este proyecto de investigación es un paso para extender las áreas de importancia para el PSA ya que detrás de esto, existen requerimientos de tipo logístico, administrativo y prácticos que también han sido tenidos en cuenta.

Otro atributo de este proyecto, es poder evaluar con estos indicadores aquellos ejidos que ya perciben un PSA. Los anfibios son un indicador muy fácil de muestrear, lo que implica que son una herramienta útil para corroborar el estado de conservación de Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca y la calidad de sus servicios ambientales, ya que se encuentran distribuidos desde la parte baja hasta la parte alta.

La desigualdad que se tiene en los ejidos que reciben un pago por Servicios Ambientales y los ejidos que no cuentan con este beneficio, han provocado que se degraden áreas en la reserva, aunque el PSA no podría ayudar a mejorar las

condiciones socioeconómicas de los habitantes de la reserva, puede ayudar a mitigar la degradación de los bosques de la reserva. Al revisar los informes de la WWF y Fondo Monarca, sobre el monitoreo de la cobertura forestal y el PSA en la zona núcleo, la pérdida y degradación de los bosques se ha reducido a escasas 5 ha en estos últimos dos años, a diferencia del año 2003 a 2007 donde se deforestaron cientos de hectáreas, principalmente en la zona de amortiguamiento y la zona núcleo.

El fomento al PSA en la zona de amortiguamiento, generaría un fortalecimiento para los dueños de los ejidos. Esto promovería mejores prácticas de manejo de esa superficie y actividades de conservación. Si realmente el PSA obedece a una visión de cuenca hidrológica o de corredor biológico, es indispensable la inclusión de la zona de amortiguamiento en los mecanismos de Pago por Servicios Ambientales.

De acuerdo con el análisis de las áreas prioritarias para los servicios ambientales, se observó que la distribución potencial de los anfibios, con base a su riqueza está asociada a la cobertura forestal. Lo que significa que esas áreas mantienen un buen estado de conservación, ya que resguardan una mayor riqueza de anfibios. Por lo tanto el resguardar las áreas con mayor riqueza de anfibios, es importante para la funcionalidad del ecosistema y la provisión de los servicios ambientales.

VII.3 Anfibios y sociedad

Darle prioridad a la conservación de la mariposa monarca, no debe de significar descuidar los demás atributos y la biodiversidad que resguarda esta ANP. Actualmente, los anfibios son el grupo más vulnerable y al cual se debería poner

más atención, ya que proteger este grupo tan vulnerable, podría estar resguardando como especie sombrilla el hábitat de la mariposa monarca, las plantas, animales y los servicios ambientales de calidad.

Durante los dos años que se realizaron los muestreos, los anfibios son el grupo más desconocido por parte de los habitantes de la reserva. Esta falta de conocimiento hace que no sean valorados y se permita que se deterioren sus hábitats, como los bosques en la zona de amortiguamiento, los escurrimientos y los ojos de agua. Parte de este problema es la población, la cual tiene un grado de marginación de bajo hasta muy alto, con la predominancia de un grado medio.

Muchas de las estrategias que se han propuesto para la conservación para estas especies implican una serie de pasos que involucran a los habitantes y las autoridades correspondientes en la reserva. Entre las estrategias que pudieran tener más resultados son las tomadas de Moreno & Rodríguez (2013). Estas estrategias son una serie de tres pasos que implican:

- La restauración de su hábitat y la eliminación de amenazas.
- El cambio en la percepción de los anfibios.
- Fomento a la iniciativa local.

La restauración del hábitat y la eliminación de amenazas serían la primera parte que se tendría que abordar en la reserva. Hoy por hoy, la RBMM desarrolla actividades de turismo que están poniendo en riesgo el hábitat de los anfibios, para esto, se requiere un estudio en el que participen las entidades locales, las cuales necesitan resguardar y recuperar los puntos de agua donde los anfibios puedan reproducirse,

además de mantener el hábitat terrestre entre puntos de agua cercanos, de manera que se mantenga la conectividad entre la vegetación y el agua. Esta medida mantendría a los anfibios protegidos de las amenazas directas e indirectas de las actividades turísticas y garantizando su supervivencia a largo plazo.

Otro punto importante sería el aprovechamiento forestal en la zona de amortiguamiento, que sería imprescindible integrar al PSA de manera que se pueda dejar intacto la superficie de mayor importancia para los anfibios, además de beneficiar de manera indirecta la captura del agua, el resguardo de plantas, animales, ecosistemas y paisajes. Estas pequeñas acciones a escala local podrían beneficiar tanto a los anfibios, como a los habitantes y consumidores de los servicios ambientales en el corto y largo plazo.

VIII. CONCLUSIONES

El uso de análisis multicriterio y los pesos de evidencia para mapear la distribución del hábitat de los anfibios, arrojó resultados satisfactorios, ya que se replicó cada modelo, para cada uno de los anfibios diez veces con 70% de los registros y usando el 30% restante para su validación, con lo que se obtuvo el modelo promedio para cada una de las especies, con una afinidad mayor del 70% de los datos en alta probabilidad.

Parte de la certeza de los modelos, se atribuye al uso de los factores ambientales, que se correlacionan con la presencia de las especies, esta información se obtuvo de consulta de los especialistas en anfibios.

Un punto importante y que haría falta en los modelos generados, sería la verificación en campo, para aquellas áreas que presentan una distribución potencial de anfibios, y en las cuales no se tiene registro de campo.

De acuerdo con la primera hipótesis planteada, se corroboró que la mayor riqueza de anfibios se encuentra asociada a la cobertura forestal. Lo que significa que esas áreas tienen un buen estado de conservación y por lo tanto, para los servicios ambientales. Los anfibios son un buen indicador debido a que son muy sensibles a la alteración de su hábitat. Por ello, la superficie de predicción de estos organismos es un indicador de la calidad de los ecosistemas, principalmente el agua y los bosques donde habitan, siendo imprescindible proteger el ambiente donde se captura el agua, se alberga una diversidad de plantas y animales, la captura de carbono y ciclo del nitrógeno, entre otros muchos beneficios ambientales.

La segunda hipótesis planteada demuestra que la zona núcleo mantiene una mayor superficie con más interacciones de especies, por lo que se le puede considerar que es el área que conserva un mejor vigor o un ecosistema con mayor productividad, debido a que casi el total de su superficie mantiene un PSA, lo se ve reflejado en más actividades de conservación, a diferencia de la zona de amortiguamiento, ya que en esta zona persiste actividad antropogénica, que genera un estrés en el ecosistema y por lo tanto una baja productividad de sus beneficios ambientales.

Es necesario incluir a los criterios de Pago por Servicios Ambientales, a los indicadores faunísticos como los anfibios, ya que éstos funcionan positivamente para medir la salud de los ecosistemas.

De acuerdo con los criterios para la identificación de áreas prioritarias o críticas para la conservación, los anfibios deberían ser considerados de entre los muchos indicadores, uno de los principales debido a que los múltiples estudios sobre estas especies permiten conocer el estado de preservación, funcionalidad y la salud de los ecosistemas.

De los anfibios con los que se realizó este proyecto, *Ambystoma rivulare* tiene la categoría de especie y población prioritaria de conservación, según lo establece el acuerdo de la lista de especies que ofrecen oportunidades para dar mayor alcance a los esfuerzos de conservación (SEMARNAT, 2014b). Esta lista es el resultado de un proceso sistemático y de conocimiento experto, con el fin de promover el desarrollo de proyectos para su conservación y recuperación, y con ello la de ecosistemas, hábitat y especies con los que se encuentran asociadas. De acuerdo

a la investigación realizada, los resultados indican que el hábitat de esta especie es el más restringido de todos los anfibios en la reserva. Si no se toman medidas de conservación, es probable que este organismo desaparezca al igual que los otros anfibios que se encuentran en categorías de especies amenazadas a nivel nacional e internacional.

La predicción de las áreas de anfibios, no sólo sirvió para conocer la superficie mejor conservada en la reserva, ayudó a obtener un estatus de los requerimientos de cada uno de los anfibios, así como su distribución en la reserva y por lo tanto ayudar para proponer programas de conservación para las especies que se encuentran más restringidas y amenazadas. Debido la calidad de los modelos obtenidos se puede proponer áreas con las mismas características para su introducción como en el caso de *Ambystoma rivulare* e *Hyla plicata*.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Miguel, X., Casas Andreu, G., Cárdenas Ramos, P. J., & Cantellano de Rosas, E. (2009). Análisis espacial y conservación de los anfibios y reptiles del Estado de México. *Ciencia Ergo Sum.*, 171-180.
- Arteber, F., Bonham-Carter, G., Cheng, Q., & Wright, D. (1968). *Weights of evidence modeling and weighted logistic regression for mineral potential mapping*. New York: Oxford University Press.
- Azqueta, D., Alviar, M., Domínguez, L., & ORayan, R. (2007). *Introducción a la economía ambiental*. España: Ed. McGraw-Hill. Segunda edición.
- Barr, C., Resosudarmo, I. A., Dermawan, A., McCarthy, J., Moeliono, M., Setiono, B., & eds. (2006). Decentralization of forest administration in Indonesia: implications for forest sustainability, economic development and community livelihoods. *Bogor, Indonesia, Center for International Forestry Research (CIFOR)*, 178.
- Barredo, J. (1996). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. España: Editorial RA-MA.
- Becker, C., Fonseca, C., Haddad, C., & Prado, P. (2009). Habitat Split as a Cause of Local Population Declines of Amphibians with Aquatic Larvae. *Conservation Biology*, 287-294.
- Becker, C., Loyola, R., Haddad, C., & Zamudio, K. (2009). Integrating species life-history traits and patterns of deforestation in amphibian conservation planning. *Diversity and Distributions*, 10-19.
- Blaustein, A., Wake, D., & Waney, P. (1994). Amphibian Declines: Judging Stability, Persistence, and Susceptibility of Populations to Local and Global Extinctions. *Conservation Biology*, 60-71.
- Bonham-Carter, G. (1994). *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Elsevier.
- Brauman, K., Gretchen, C., Duarte, K., & Mooney, H. (2007). The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. *Annual Review of Environment and Resources*, 67-98.

-
- Brent, R., Fritz, K., Blocksom, K., & Walters, D. (2009). Larval salamanders and channel geomorphology are indicators of hydrologic permanence in forested headwater streams. *Ecological Indicators*, 150-159.
- Brusca, R., & Brusca, G. (2005). *Invertebrados*. España: McGraw-Hill Interamericana de España S.L.
- Bury, R. (1988). Habitat relationships and ecological importance of amphibians and reptiles. In Raedeke, K. (ed.). *Streamside Management: Riparian Wildlife and Forestry Interaction*. Univ. Washington, Inst. Forest Resources, Contrib, 66-76.
- Calderón, F. (2013). Hologación de los Municipios michiacanos tributarios de agua al Sistema Cutzamla con respecto a los Municipios del Estado de México ., (pág. 4). Michoacán.
- Caloni, N. (2010). Análisis Espacial de Evaluación Multicriterio en la Generación de Alternativas Viales para el Trazado de la Autopista Luján-Mercedes. *Geografía y Sistemas de Información. Aspectos Conceptuales y Aplicaciones*, Universidad Nacional de Luján, 487-519.
- Carbajal-Domínguez, A. (2012). *Anfibios y reptiles como indicadores del estado de conservación de los bosques de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, Estado de México y Michoacán*. México: Facultad de Ciencias, UNAM. Licenciatura en Biología.
- Carrillo, L. (2008). *Arca de los anfibios*. *Guía Informativa Global*. Bogotá, Colombia : Amphibian Ark.
- CONAFOR. (2011). *Servicios Ambientales y Cambio Climático*. México: Semarnat, Comisión Nacional Forestal.
- CONAFOR_1. (2009). *Inventario Nacional Forestal y de Suelos México 2004-2009. Una herramienta que da certeza a la planeación, evaluación y el desarrollo forestal de México*. Zapopan, Jalisco, México: Comisión Nacional Forestal.
- CONANP. (2007). *Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, Descripción de la Problemática*. México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- CONANP_a. (2010). *Pago Por Servicios Ambientales en Áreas Naturales Protegidas - Análisis 2003-2008*. México.

-
- CONANP_b. (2001). *Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- Conroy, M., & Moore, C. (2002). Wildlife habitat modeling in an adaptive framework: The role of alternative models. En *Predicting species occurrences : issues of accuracy and scale* (págs. 205-218). Washington, DC: Island Press.
- Contreras-Medina, R., Luna-Vega, I., & Ríos-Muñoz, C. (2010). Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México: Modelos ecológicos de nicho, efectos del cambio del uso de suelo y conservación. *Revista chilena de historia natural*, 421-433.
- Cornejo, T. G, Casas, A., Farfán, B., Villaseñor, J., & Ibarra, M. G. (2003). Flora y vegetación de las zonas núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 43-62.
- Dirzo, R., & Noble, I. R. (1997). Forests as human-dominated ecosystems. *Science*, 522-525.
- Durán-Medina, E., Mas, J., & Velázquez, A. (2007). Cambios en las coberturas de vegetación y usos del suelo en regiones con manejo forestal comunitario y áreas naturales protegidas de México. En B. Bray, & L. Merino-Pérez, *Los bosques Comunitarios de México* (págs. 267-299). México: INE-SEMARNAT.
- Elvira Durán-Medina, J.-F. M. (2007). Capítulo 10. Cambios en las coberturas de vegetación y usos del suelo en regiones con manejo forestal comunitario y Áreas Naturales Protegidas de México. En L. M. David Bray, *Los bosques comunitarios de México. Manejo sustentable de paisajes forestales* (pág. 444). México.
- Environment Canada. (2014). *Canadian Environmental Sustainability Indicators: Data Sources and Methods for the Species at Risk Population Trends Indicator*. Canada: Consultado el 17 de Octubre, 2014: <http://ec.gc.ca/indicateurs-indicators/default.asp?lang=En&n=E79097C1-1>.
- FAO. (2006). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005. Hacia la ordenación forestal sostenible*. Roma, Italia: Departameto de Montes.
- FAO. (2007). *Situación de los Bosques del Mundo*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

-
- FAO. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Flores-Villela Oscar, P. G. (1994). *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo*. México: Ediciones Técnico Científicas SA de CV.
- Flores-Villela, O. (1993). The herpetofauna of Mexico, distribution and endemism. In: Biological diversity of Mexico: origins and distributions, T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot and J. Fa. *Oxford University Press, New York*, 253-280.
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A. C. (2006). *El agua en México: lo que todas y todos debemos saber*. México: www.agua.org.mx.
- Fries, A., Rollenbeck, R., Naub, T., Peters, T., & Bendix, J. (2011). Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization. *Agricultural and Forest Meteorology*, 17-30.
- Galindo-Serrano, J. A. (2013). *Susceptibilidad a procesos de remoción en masa en la Red carretera de la Sierra Nororiental, Puebla*. México: Tesis de Licenciatura.
- García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana)*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, J., Cadena, R., & Simón, M. (2004). Aplicación de un sistema de evaluación multicriterio a la conservación de fauna silvestre mediante un SIG. En C. Conesa García, & J. Martínez Guevara, *Territorio y Medio Ambiente: Métodos Cuantitativos y Técnicas de Información Geográfica* (págs. 289-301). Murcia, España: Universidad de Murcia, Departamento de Geografía.
- García-Serrano, E. R.-H.-H.-E. (2007). Monitoreo Social 2007 de los predios que participan en el Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca. *Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca (WWF y FMCN)*, 20.
- García-Vázquez, U., Gutiérrez-Mayén, C., Hernández-Jiménez, A., & Auriol-López, V. (2006). *Estudio de la densidad poblacional y algunos aspectos ecológicos de Pseudoeurycea leprosa en el parque Nacional la Malinche*. Tlaxcala, México: Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana.

-
- Garduño, B. (2011). *Diagnóstico fitosanitario forestal Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca en el Estado de México*. México: Reporte Técnico. Gobierno del Estado de México.
- GBIF. (2014). *Global Biodiversity Information Facility: Free an Open Access to Biodiversity Data*. <http://www.gbif.org/>.
- Gerencia de Servicios Ambientales del Bosque de la Conafor, E. F. (2013). *El Fondo Monarca. Un instrumento innovador de pago por servicios ambientales en apoyo a la conservación de bosques y a la retribución a las comunidades forestales*. Zapopan, Jalisco, México: Comisión Nacional Forestal.
- Glowka, L., Burhenne-Guilmin, F., Synge, H., McNeely, J., & Gündling, L. (1996). *Guía del Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Gland y Cambridge: UICN.
- Guisan, A., & Zimmermann, N. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Modell*, 147-186.
- Hall, F., & Root, R. (1930). The Influence of Humidity on the Body Temperature of Certain Poikilotherms. *Marine Biological Laboratory*, 52-58.
- Hartwell, H., Welsh, J., & Droege, S. (2001). Plethodontid Salamanders for Monitoring Biodiversity and Ecosystem Integrity of North American Forests. *Conservation Biology*, 558-569.
- Hassan, R. M., Scholes, R., & Neville, A. (2005). *Ecosystems and human well-being: health synthesis*. Washington, DC: Millennium Ecosystem Assessment.
- Hilty, J., & Merenlender. (2000). Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological Conservation*, 185-197.
- Hilty, J., & Merenlender, A. (1999). Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological Conservation*, 185-197.
- Hirald, F., & Alonso, J. (1985). *Sistema de indicadores faunísticos (vertebrados) aplicable a la planificación y gestión del medio natural en la Península Ibérica*. España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza.

-
- Horne, V. (2002). Approaches to habitat modeling: The tensions between pattern and process and between specificity and generality. *in Predicting species occurrences: issues of accuracy and scale*, 63-72.
- INEGI. (2014). *Datos de Relieve*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía :
http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/datos_relieve.aspx.
- INEGI y SEMARNAP. (2000). *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México*. México.
- IUCN a. (2001). *Red list categories: version 3.1*. UICN Species Survival Comission.
- IUCN, & RED LIST. (2008). *Sensibilidad de las especies a los impactos del cambio climático*. Comisión de Supervivencia de Especies (CSE).
- Kardong, K. (2007). *Vertebrados: anatomia comparada, funcion y evolucion (4ª ed.)*. España: S.A. mcgraw-hill / interamericana de españa.
- Kirk, R., & Lancelot- Hogben, F. (1946). Studies on Temperature Regulation . II. Amphibia ana Reptiles. *Studies on temperature regulation*, 213-220.
- Lobos, G., Vidal, M., Correa, C., Labra, A., Días-Páez, H., Charrier , A., Tala, C. (2013). *Anfibios de Chile, un desafio para la conservación*. Santiago: Ministerio del Medio Ambiente, Fundación Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile y Red Chilena de Herpetología.
- López-García, J. (2007). *Análisis de cambio de la cobertura forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (2006 – 2007)*. México, D. F.: Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca (WWF y FMCN).
- López-García, J. (2011). Deforestation and forest degradation in Monarch Butterfly Biosphere Reserve, México, 2003-2009. *Journal of Maps*, 665-673.
- López-García, J., & Vega-Guzmán, Á. (2010). Vegetation and land use 2009: Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico. *Journal of Maps*, 665-673.
- López-Gómez, V., Zedillo-Avelleyra, P., Anaya-Hong, S., González-Lozada, E., & Cano-Santana, Z. (2012). Efecto de la orientación de la ladera sobre la estructura poblacional y ecomorfología de *Neobuxbaumia tetetzo* (cactaceae). *Botanical Sciences*, 453-457.

-
- López-Lara, E., Posada-Simeon, J., & Moreno-Navarro, J. (1998). Los Sistemas de Información Geográfica. En *En: Actas del I Congreso de Ciencia Regional de Andalucía: Andalucía en el Umbral del Siglo XXI* (págs. 789-804). España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz.
- Lovinis, A., Lovinis, H., & Hawken, P. (1999). A Road Map for Natural Capitalism. *Harv Bus Rev*, 145-58, 211.
- Lozano, G., Zapata, M., & Peña, L. (2001). Modelación de corrientes hidricas superficiales en el departamento del Quindío Colombia. *Seminario Internacional: La Hidro informática en la Gestión de los Recursos Hídricos*.
- Macip-Ríos, R., & Macip, R. F. (2013). Pago por servicios ambientales (ecosistémicos) en México ¿Una alternativa para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo?, *Biocyt es editada en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México*, 375-387.
- Marco, A. (2002). *Contaminación global por nitrógeno y declive de anfibios*. Sevilla, España: Consejo Superior de las Investigaciones Científicas.
- Martínez, R. (2008). *Guía Conceptual y Metodológica para el Diseño de Esquemas de Pagos por Servicios Ambientales en Latino-América y el Caribe*. Washington D.C.: Departamento de Desarrollo Sostenible - DDS Organización de Estados Americanos- OEA.
- Martínez-Gutiérrez, G. (2007). *Detección de áreas potenciales para la reintroducción del lobo mexicano (Canis lupus baileyi) en México*. México: Tesis presentada al Instituto de Ecología, A. C.
- Montes, C., & Sala, O. (2007). La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Las relaciones entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. *Ecosistemas*, 137-147.
- Moreira Muñoz, A. (1996). Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica. *Ciencia y Ambiente*, 80-86.
- Moreno, L., & Rodríguez, G. (2013). *Guía de iniciativas locales para los anfibios. Pequeños proyectos para un gran beneficio*. España: WWF, Gobierno de España.
- OCDE. (1998). *oecd Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews: A Synthesis Report by the Group on the State of the Environment*. Paris: OCDE.

-
- OCDE. (1998). *Environmental Indicators*. France: Towards Sustainable Development.
- Ollivier, H. H. (1988). Stream amphibians as indicators of ecosystem stress: a case study from California's redwoods. *Ecological Applications*, 1118-1132.
- Parra-Olea, G., & Wake, D. (2008). *Pseudoeurycea longicauda*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.2. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 21 October .
- Parra-Olea, G., & Wake, D. (2014). *Pseudoeurycea leprosa*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.2. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 14 October 2014.
- Parra-Olea, G., Flores-Villela, O., & Mendoza-Almeralla, C. (2014). Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 460-466.
- Parra-Olea, G., Wake, D., Hanken, J., & Ponce-campos. (2010). *Pseudoeurycea bellii*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.2. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 21 October 2014.
- Perevochikova, M., & Vázquez, A. (2012). The federal program of Payment for Hydrological Environmental Services as an alternative instrument for Integrated Water Resources Management in Mexico City. *The Open Geography Journal*, 36-46.
- Perevochtchikova, M., & Ochoa, A. (2012). Avances y limitaciones del programa de pago por servicios ambientales hidrológicos en México. *Revista Mexicana de Ciencia*.
- Ramírez Bautista, A., & Hernández Ibarra, X. (2004). *Ficha técnica de Pseudoeurycea leprosa*. En: Arizmendi, M. C. (compilador). *Sistemática e historia natural de algunos anfibios y reptiles de México*. México, D. F.: Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos (UBIPRO), Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. .
- Rapport, D. J. (1992). Evaluating ecosystem health. *Journal of Aquatic Ecosystem Health*, 15-24.
- Rapport, D., Regier, H., & Hutchinson, T. (1985). Ecosystem Behavior Under Stress. *The American Naturalist*, 617-640.

-
- Reinoso Flores, G. V. (2008). *Biodiversidad Faunística y Florística de la cuenca mayor del río Saldaña (subcuenca Anamichú)*. Ibagué, Colombia: Biodiversidad Regional Fase IV. Grupo de Investigación en Zoología, Universidad del Tolima.
- Romero-Calcerrada, R., & Luque, S. (2006). Habitat quality assessment using Weights-of-Evidence based GIS modelling: The case of *Picoides tridactylus* as species indicator of the biodiversity value of the Finnish forest. *Ecological Modelling*, 64-76.
- Sá, R. (2005). Crisis Global de Biodiversidad: Importancia de la Diversidad Genética y la Extinción de Anfibios. *Agrociencia*, 513-522.
- Sánchez-Núñez, E. (2007). *Vertebrados silvestres en zonas indígenas de la reserva de la biósfera Mariposa Monarca: anfibios y reptiles*. México, D.F.: Asesores en el Manejo de Recursos Naturales SA de CV. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. BK046.
- Santos-Barrera, G., & Canseco-Márquez, L. (2014). *Hyla plicata*. *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.2*. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 14 October 2014.
- Santos-Barrera, G., & Flores-Villela, O. (2014). *Lithobates spectabilis*. *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.2*. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 14 October 2014.
- Sarukhán et al, J. (2012). *Capital natural de México: Acciones estratégicas para su valoración, preservación y recuperación*. México: comisión nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Sarukhán, J. e. (2009). *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación*. México: CONABIO.
- Schoenherr, A., Feldmeth, C., & Emerson, M. (2003). Natural history of the Island of California. *University of California Press*.
- SEMARNAT. (2006a). *Manual del proceso de ordenamiento ecológico*. México, D. F.: SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales).
- SEMARNAT. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. México: Diario Oficial de la Federación (DOF), jueves 30 de diciembre de 2010.

-
- SEMARNATb. (2014). *Acuerdo por el que se da a conocer la lista de especies y poblaciones prioritarias para la conservación*. México: Diario Oficial.
- SEMARNATc. (2006). *La Gestión Ambiental en México*. México, D. F.: SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales).
- SEMARNATd. (2014). *Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA)*. México: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/estadisticas-ambientales/snia>.
- Shaffer, B., Dolores Huacaz, Flores-Villela, O., Parra-Olea, G., Wake, D., & Papenfuss, T. (2008). *Ambystoma rivulare*. Version 2014.2. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 21 October 2014.
- Sillero, N., Ribeiro, R., Brito, J., & García-Melédez, E. (2008). Estimating altitude in distribution records of Amphibians and Reptiles: A comparative study between topographic maps and Remote Sensing data. *Amphibia Reptilia*, 121-126.
- Simula, M., & Mansur, E. (2011). Medir la degradación del bosque. *UNASYLVA*, 3-7.
- SNIA. (2008). *Sistema Nacional de Indicadores Ambientales*. Aguascalientes, México: <http://www.inegi.org.mx/rne/docs/Pdfs/Mesa3/19/ArturoFlores.pdf>.
- Soussan, J., Sherestha, B., & Uprety, L. (1995). *The social dynamics of deforestation: a case study from Nepal*. London: Taylor & Francis Ltd.
- Swallow, B., Leimona, B., Yatich, T., & Velarde, S. (2007). The conditions for effective mechanisms of compensation and rewards for environmental services. *World Agroforestry Centre*, 36-40.
- Tamayo, J. (1962). *Geografía General de México*. México: UNAM-CETENAL.
- Tracy, R. (1976). A model of the dynamic exchange of water and energy between a terrestrial amphibian and its environment. *Ecol. Monogr*, 293-326.
- Vazquez-Quintana, M. (2012). *Efecto del cambio en la cobertura vegetal sobre la captura de carbono en suelo en la reserva de la biosfera mariposa monarca, Estado de México y Michoacán*. México: Tesis de Licenciatura.
- Vega-Estrada, S., Téllez-Vázquez, Y., & López-Ramírez, J. (2010). *Índice de marginación por localidad 2010*. México: CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN.

-
- Venegas Pérez, Y., Rodríguez Mejía, S., & López Páez, D. (2011). *Análisis Base para el diseño de la Estrategia de Reforestación de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca*. México: Monarch Butterfly Fund - Dirección de la Reserva de la Biosfera Mariposa .
- Vitt, L., & Caldwell, J. (2013). *Herpetology, Fourth Edition: An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles*. Amsterdam : Boston : Academic Press.
- Wake, D. (1991). Declining amphibian populations. *Science*.
- Wells, K. D. (2007). *The Ecology and Behavior of Amphibians*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Welsh, H., & Droege, S. (2001). A case for using Plethodontid salamanders for monitoring biodiversity and ecosystem integrity of North American forests. *Conservation Biology*, 558-569.
- Welsh, H., & Ollivier, L. (1998). Stream amphibians as indicators of ecosystem stress: a case study from California's redwoods. *Ecological Applications*, 1118-1132.
- White, D., Wester, F., Huber-Lee, A., Thai Hoanh, C., & Gichuki, F. (2008). *Water Benefits Sharing for Poverty Alleviation and Conflict Management: CPWF Topic Synthesis 03*. Colombo, Sri Lanka: CGIAR Challenge Program on Water and Food.
- Wilbur, H., Vitt, L., Smith, D., & Caldwell, J. (1990). Amphibians as harbingers of decay. *BioScience*.
- Wunder, S. (2006). *Pagos por servicios ambientales: Principios básicos esenciales*. Indonesia: Centro Internacional de Investigación Forestal.
- Xue-Qing, Y., Gayantha, R., Eike, L., Xue-Fei, Y., Jun, H., Pei-gui, L., & Jian-Chu, X. (2012). Looking below the ground: Prediction of *Tuber indicum* habitat using the Weights of Evidence method. *Ecological Modelling*, 27-39.