



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

**Dinámica espacial de la cobertura boscosa en
Áreas Naturales Protegidas con mayor riqueza de
odonatos en México**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADA EN GEOGRAFÍA**

P R E S E N T A

Miranda Huerta Karen Zoravir

DIRECTOR DE TESIS

Biól. José Gerardo Rodríguez Tapia

Ciudad Universitaria, CDMX, 2020.





Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Índice

Introducción	1
Objetivos	3
Hipótesis	3
Capítulo 1. Biogeografía, biodiversidad y odonatos	4
1.1. La biogeografía dentro de la geografía.....	4
1.1.1. Antecedentes históricos	4
1.2. Biodiversidad.....	8
1.2.1. Biodiversidad de México.....	11
1.2.2. Importancia de la biodiversidad	13
1.3. Diversidad del orden Odonata	16
1.3.1. Características del grupo	17
1.3.2. Uso de odonatos como bioindicadores	20
Capítulo 2. Áreas Naturales Protegidas de México	22
2.1. Áreas Naturales Protegidas.....	22
2.1.2. Categorías de manejo.....	24
2.2. Áreas Naturales Protegidas con mayor riqueza de odonatos.....	30
2.2.1. Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas	30
2.2.2. Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla	34
2.2.3. Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa	37
2.2.4. Reserva de la Biosfera Calakmul.....	40
Capítulo 3. Cambio en la cobertura de superficie boscosa en Áreas Naturales Protegidas con más riqueza de odonatos	43
3.1. Riqueza de odonatos	43
3.1.1. Origen de registros de odonatos	43
3.1.1.1. Análisis a dos escalas espaciales	44
3.1.2. Diversidad alfa de odonatos en Áreas Naturales Protegidas	48
3.1.2.1. Estimación de riqueza alfa	51
3.1.2.2. EstimateS.....	54

3.2. CLASlite.....	55
3.2.1. Sensor Landsat como fuente de información	57
3.2.1.	59
3.2.1.1. Calibrar imagen a reflectancia.....	59
3.2.1.1.	62
3.2.1.2. Cobertura fraccional.....	62
3.2.1.3. Cambio de cobertura de bosque	68
3.3. Análisis en el cambio de la cobertura boscosa	71
3.3.1. Superficie pérdida por cambio de cobertura boscosa	72
3.3.2. Relación entre la riqueza de odonatos y la cobertura forestal	112
Conclusión	117
Anexos	120
Referencias bibliográficas	136

Cuadros

Cuadro 1. Especies descritas y estimadas para México.....	12
Cuadro 2. Extensión de ecosistemas de México.....	12
Cuadro 3. Servicios y beneficios que presentan los ecosistemas	15
Cuadro 4. Número de especies de Odonata de México por familia	16
Cuadro 5. Comparación entre los dos infraórdenes de odonatos	18
Cuadro 6. Áreas Naturales Protegidas existentes en México	25
Cuadro 7. Revisión de base de datos de odonatos en México.....	44
Cuadro 8. Áreas Naturales Protegidas con presencia de odonatos.....	49
Cuadro 9. Comparación de especies de México y Áreas Naturales Protegidas	51
Cuadro 10. Valores estimados de riqueza potencial de especies por Chao 2 e ICE.....	54
Cuadro 11. Características de las imágenes de satélite de los sensores Landsat 4, 5 y 7.....	59
Cuadro 12. Temporalidad de imágenes Landsat en los cinco periodos.....	72
Cuadro 13. Cambio acumulado en la cobertura boscosa y porcentaje de pérdida respecto a la superficie total de los periodos establecidos en las Áreas Naturales Protegidas.....	76
Cuadro 14. Cambio acumulado de la cobertura boscosa de los periodos establecidos en las	

Áreas Naturales Protegidas.....	81
Cuadro 15. Resultados entre la diversidad estimada y la pérdida de cobertura boscosa....	112

Figuras

Figura 1. Biogeografía balanceada de la ecología, historia y azar	8
Figura 2. Niveles de organización incluidos en el concepto de biodiversidad.....	10
Figura 3. Ciclo de vida de los odonatos.....	20
Figura 4. Áreas Naturales Protegidas	24
Figura 5. Resumen de procesamiento de CLASlite.....	56
Figura 6. Corrector de escaneo lineal	57
Figura 7. Radiación electromagnética	58
Figura 8. Espectro electromagnético	58
Figura 9. Segunda Simulación de una Señal de Satélite en el Vector de Espectro Solar (6SV)	61
Figura 10. Firma espectral	62
Figura 11. Análisis de Mezcla Espectral (SMA).....	65
Figura 12. Cobertura fraccional de PV, NPV y Sustrato.....	67
Figura 13. Filtros espaciales de deforestación y perturbación	70
Figura 14. Ejemplo de la combinación de bandas 5, 4 y 3 en la Reserva de la Biosfera Calakmul en 1993.....	73
Figura 15. Ejemplo de la combinación de bandas 5, 4 y 3 en la Reserva de la Biosfera Calakmul en 1994.....	73
Figura 16. Ejemplo de falsa pérdida de cobertura boscosa por la nubosidad en la Reserva de la Biosfera de Calakmul en 1993 para el escenario 2 en deforestación	74
Figura 17. Ejemplo de falsa pérdida de cobertura boscosa por la nubosidad en la Reserva de la Biosfera de Calakmul en 1994 para el escenario 2 en deforestación	74

Gráficas

Gráfica 1. Comparación de especies de México y Áreas Naturales Protegidas	48
Gráfica 2. Curva de acumulación estimadores de especies de Chao 2 e ICE.....	55
Gráfica 3. Porcentaje de cambio de la cobertura boscosa respecto a la superficie por periodo	

en las Áreas Naturales Protegidas	75
Gráfica 4. Cambios de la cobertura boscosa de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtla	77
Gráfica 5. Cambios de la cobertura boscosa de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla	78
Gráfica 6. Cambios de la cobertura boscosa de la Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa	79
Gráfica 8. Cambios de la cobertura boscosa de la Reserva de la Biosfera Calakmul	80
Gráfica 9. Porcentaje de cambio de cobertura boscosa acumulado respecto a la superficie total de los periodos establecidos	82
Gráfica 10. Curva de regresión de deforestación para escenario 1	113
Gráfica 11. Curva de regresión de perturbación para escenario 1	113
Gráfica 12. Curva de regresión de deforestación para escenario 2	114
Gráfica 13. Curva de regresión de perturbación para escenario 2.....	115
Gráfica 14. Curva de regresión de deforestación para escenario 3	115
Gráfica 15. Curva de regresión de perturbación para escenario 3.....	116

Mapas

Mapa 1. Áreas Naturales Protegidas de México.....	26
Mapa 2. Reserva de la Biosfera Los Tuxtla.....	33
Mapa 3. Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla.....	36
Mapa 4. Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa	39
Mapa 5. Reserva de la Biosfera Calakmul	42
Mapa 6. Revisión de base de datos de odonatos en México.....	45
Mapa 7. Riqueza de odonatos en cuadrícula de 1° de latitud por longitud (5000 km ²)	46
Mapa 8. Riqueza de odonatos en cuadrícula de 0.5° de latitud por longitud (2500 km ²)	47
Mapa 9. Áreas Naturales Protegidas de México con mayor riqueza de odonatos.....	50
Mapa 10. Deforestación según umbrales propuestos por CLASlite en Reserva de la Biosfera Los Tuxtla.....	83
Mapa 11. Perturbación según umbrales propuestos por CLASlite en Reserva de la Biosfera Los Tuxtla.....	84

Mapa 12. Deforestación según umbrales por debajo de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Los Tuxtla.....	85
Mapa 13. Perturbación según umbrales por debajo de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Los Tuxtla	86
Mapa 14. Deforestación según umbrales por arriba de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Los Tuxtla	87
Mapa 15. Perturbación según umbrales por arriba de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Los Tuxtla	88
Mapa 16. Deforestación según umbrales propuestos por CLASlite en Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla	90
Mapa 17. Perturbación según umbrales propuestos por CLASlite en Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla	91
Mapa 18. Deforestación según umbrales por debajo de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla.....	92
Mapa 19. Perturbación según umbrales por debajo de los valores <u>de</u> CLASlite en Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla.....	93
Mapa 20. Deforestación según umbrales por arriba de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla.....	94
Mapa 21. Perturbación según umbrales por arriba de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla.....	95
Mapa 22. Deforestación según umbrales propuestos por CLASlite en Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa.....	97
Mapa 23. Perturbación según umbrales propuestos por CLASlite en Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa.....	98
Mapa 24. Deforestación según umbrales por debajo de los valores de CLASlite en Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa.....	99
Mapa 25. Perturbación según umbrales por debajo de los valores de CLASlite en Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa.....	100
Mapa 26. Deforestación según umbrales por arriba de los valores de CLASlite en Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa.....	101
Mapa 27. Perturbación según umbrales por arriba de los valores de CLASlite en Zona	

Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa.....	102
Mapa 28. Deforestación según umbrales propuestos por CLASlite en Reserva de la Biosfera Calakmul.....	104
Mapa 29. Perturbación según umbrales propuestos por CLASlite en Reserva de la Biosfera Calakmul.....	105
Mapa 30. Deforestación según umbrales por debajo de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Calakmul	106
Mapa 31. Perturbación según umbrales por debajo de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Calakmul	107
Mapa 32. Deforestación según umbrales por arriba de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Calakmul	108
Mapa 33. Perturbación según umbrales por arriba de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Calakmul	109

Dedicatorias

A mi abuelita, por ser la primera en apoyarme en estudiar lo que quería “Geografía”, en contra de lo que pensaban los demás. Sé que ya no estás, pero no hay momento en que no deje de recordar los momentos que pasamos y tus enseñanzas. Te agradezco, porque de no ser por ti, no estaría donde estoy ahora. Quisiera que estuvieras conmigo, para darme consejos, tus abrazos y tu consuelo, pero sé que dónde quiera que estés, me guías y me cuidas. Te amo y te extraño mucho.

A mi mamá, por ser mi apoyo, por creer en mí, por tu cariño, por las risas, por estar a mi lado, por entenderme en momentos difíciles y levantarme en los malos momentos. Por no rendirte y por ser una gran mujer. Sin tú apoyo, no estaría donde estoy ahora. Te amo mucho mami.

A mis hermanos, Alexa por las risas, las pláticas, el apoyo en todo momento, por tu confianza y apoyo incondicional, y por soportarme con mi mal humor. Más que ser mi hermana, eres mi cómplice, mi amiga incondicional. A Daniel por las pláticas bobas y por el apoyo en todo momento, te quiero mucho, aunque no estemos de acuerdo en algunas cosas, te quiero ver crecer mucho. A Edwina por las pláticas bobas, por la confianza y apoyo incondicional, por las risas a carcajadas, te quiero mucha hermana trilliza. A Raúl por las pláticas, por la confianza, por las risas y apoyarme cuando lo he necesitado. Son lo que más amo en el mundo.

A mi familia, Guadalupe, Josefina y Miguel, gracias por preocuparse por mí, por su cariño, sus enseñanzas, por sus cuidados, por el apoyo que me han brindado y motivarme a crecer como persona. A Lilian, gracias por tu cariño y por tus enseñanzas, te admiro por ser un increíble ser humano. A Alfonso, por tu cariño, por tu apoyo, por procurarme todo el tiempo y gracias por adoptarme como hija. A Daniel, por tus enseñanzas, por los momentos divertidos con mis hermanos, por cuidarme, por tu cariño, pero sobre todo ser un padre sin pedirlo. Los amo mucho.

A Karen, por creer en mí, por no dejarme sola y seguir pese a los obstáculos y malos momentos. Gracias, de no ser por ti no estaría cumpliendo este logro.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de continuar con mis estudios, por brindarme las herramientas para lograr lo que anhelaba desde pequeña, convertirme en una profesionista y formar parte de esta maravillosa institución.

A la Facultad de Filosofía y Letras, por abrirme las puertas y permitirme estudiar lo que me gusta “Geografía”. Por brindarme los recursos y el espacio de crecer como persona y profesionista.

Al Instituto de Ecología, por abrirme las puertas, por permitirme expandir mi conocimiento y mi visión sobre otras disciplinas. Por darme la oportunidad de realizar mi servicio social, fortaleciendo y ampliando mi conocimiento con nuevas herramientas, y por darme las facilidades para realizar mi investigación de grado. Además, por permitirme conocer personas que ahora estimo.

A la Unidad de Geomática del Instituto de Ecología, por abrirme las puertas y darme la oportunidad de realizar mi servicio social y mi estudio de grado, por fortalecer y ampliar mi conocimiento.

Al Laboratorio de Ecología de la Conducta de Artrópodos del Instituto de Ecología, por abrirme las puertas, por la amabilidad, el entusiasmo y el apoyo que me brindaron.

Al Dr. Alejandro Córdoba Aguilar, por contagiarme su entusiasmo e interés sobre el estudio de los odonatos, fue gracias a usted que decidí realizar mi tesis sobre ese tema y darle mi toque geográfico. Gracias por el apoyo, por los consejos, por su conocimiento, por las pláticas y por la preocupación de verme crecer académicamente y animarme. Muchas gracias, lo estimo mucho.

A la Dra. Maya Rocha Ortega por la enorme ayuda, por el tiempo, por las enseñanzas, por la paciencia y por los consejos para ajustar la metodología de mi investigación. A la Dra. Pilar Rodríguez por sus consejos para enriquecer mi investigación.

A la Dra. Niza Gámez Tamariz, por confiar y creer en mí, por las grandes enseñanzas y darme la oportunidad de expandir mi conocimiento. Gracias por los consejos, por la paciencia, por

la ayuda, por tus aportaciones a este trabajo, por las pláticas, por la amistad, por estar al pendiente de mí y por animarme a crecer académica y personalmente. Te lo agradezco infinitamente, te admiro mucho y te tengo un enorme cariño.

Al Mtro. José Mauricio Galeana Pizaña por sus enseñanzas, por expandir mis conocimientos durante las clases, por la confianza que me ha brindado y por sus consejos para ajustar la metodología de mi investigación y de otras. Gracias a sus enseñanzas confirme nuevamente las cosas increíbles que se pueden hacer como geógrafo. Lo admiro y respeto mucho.

Al Mtro. José Manuel Espinoza Rodríguez, por sus enseñanzas durante las clases fue que me anime a enriquecer mi conocimiento en otras áreas de estudio. Gracias por aceptar ser parte de mi jurado y por sus comentarios para enriquecer mi investigación.

A la Mtra. Flavia Tudela Rivadeneyra por aceptar parte de mi jurado y por sus comentarios para enriquecer mi investigación. También, por el entusiasmo que mostro sobre mi tema investigación.

A mi asesor por ser guía en este trabajo, por las observaciones y correcciones.

A mis amigos de Geografía: A Celeste, Oscar, Silvana, Cheyenne y Bruno por los momentos que hemos tenido, tanto de estudio como los no tan serios, por la confianza, por animarme, por su apoyo y cariño incondicional, por las risas, por las ocurrencias y por los momentos tristes. Los quiero muchísimo.

A Willie, David, Arturo Lanceloth, Moisés, Daniela, Osiris, Gustavo, Noel, Marco, Erick, Gerardo y Juan Pablo, por los momentos de estudio y los no tan serios, por las risas, por su apoyo y por su confianza. Muchas gracias por su amistad.

A José Arturo, por la confianza, por las risas, por las pláticas, por animarme, por tu cariño y por tu apoyo. Te quiero mucho. Jamás olvido el día que te conocí.

A Pedro y Rodrigo, por las pláticas, por la confianza, por las risas, por los momentos no tan serios y por los consejos. Marcaron mi vida en el poco tiempo que los conocí.

A mis amigos de Biología: A Brenda por ser mi primera amiga en un mundo nuevo para mí, por las pláticas, por ser mi confidente, por la confianza, por animarme, por los momentos tristes, por las risas, por tu cariño y apoyo incondicional, por entenderme, por los momentos que hemos tenido, tanto de estudio como los no tan serios. Te quiero mucho, eres de mis mejores amigas. A Miguel, por las pláticas, por las risas y por la confianza. Te estimo mucho.

A Esbaide, por la confianza, por creer en mí, por las pláticas, por ser confidentes, por animarme, por los buenos y malos momentos que hemos tenido, por entenderme, por tu cariño y apoyo incondicional. Eres un ser humano increíble, por ayudar a los demás sin pedir nada a cambio, por enseñarme que no podemos dejarnos vencer y que pequeñas cosas pueden cambiarnos, pero a pesar de eso hay más cosas por las cuales seguir. Te quiero mucho, eres como mi hermana. También, gracias a tu familia, los estimo mucho.

A Alejandra, por contagiarme tu entusiasmo, tu alegría y tu emoción sobre los murciélagos, por la confianza, por las risas, por las pláticas. Muchas gracias, sé que llegarás muy lejos y te estimo mucho. A Blanca, por las pláticas, por el trabajo en equipo, por el entusiasmo, por la confianza, por las risas y por animarme. Te estimo mucho Blanquita.

A Valery, Laura, Pablo y Karina, por las risas, por las pláticas, por sus consejos y por compartirme sus gustos académicos.

A mis amigos Julio, Javier, Nicolas, Fabián, Sofia y Aimée, por ser mis confidentes, por animarme, por la confianza, por los momentos que hemos vivido, por las pláticas, por las risas, por su apoyo y cariño incondicional. Los quiero mucho, son parte importante de mi vida.

A mis mascotas Galleta, Matías y Max, que me hicieron compañía en mis noches de desvelo.

Nada nos engrandece más que un gran dolor

Musset

Introducción

En el contexto nacional, los odonatos se consideran bien estudiados, aunque a nivel estatal solo se tiene un buen conocimiento de su presencia en Veracruz y San Luis Potosí, y en menor proporción en Tlaxcala, Zacatecas e Hidalgo; de modo que en el territorio se tiene registro de 355 especies de odonatos de las cuales 49% se considera endémico (Córdoba-Aguilar y Suarez-Tovar, 2017) que representa 6.1% de la fauna del mundo estimada (González-Soriano y Novelo-Gutiérrez, 2014).

El orden *Odonata* incluye organismos como libélulas (infraorden *Zygoptera*) y caballitos del diablo (infraorden *Anisoptera*), los cuales conforman uno de los grupos de insectos mejor conocidos. Por tal razón, son usados como indicadores en la evaluación de los ecosistemas, el monitoreo del cambio climático y recuperación de hábitats alterados; su distribución estrechamente relacionada con los cuerpos de agua y la vegetación debido a su ciclo complejo de vida ya que presentan una fase larvaria acuática y fase adulta terrestre.

Algunos factores que pueden causar cambios en la presencia o la distribución del orden es la calidad de agua, el cambio de uso de suelo y la temperatura, afectando las condiciones en el sitio de reproducción y el área terrestre circundante, ya que reaccionan rápidamente a los cambios en la calidad ambiental a través de la dispersión (Kutcher y Bried, 2014) en busca de condiciones favorables.

La pérdida de *cobertura boscosa* (se refiere exclusivamente a los bosques) por desmonte o quema por la actividad antrópica, ha sido la principal causa de la disminución de la riqueza de especies. Como respuesta, las *Áreas Naturales Protegidas* (ANP) tiene como objetivo principal la conservación de la biodiversidad y de los bienes y sus servicios ambientales (CONABIO, 2006), fungen como un instrumento que permiten la conservación y restauración de los diversos ecosistemas que no han sido significativamente alterados. Cabe mencionar que los hábitats que se protegen son distintos y están en el territorio bajo diferentes contextos sociales, por lo que se establecen seis categorías de manejo con objetivos y zonificaciones distintas, sin dejar de cumplir el objetivo principal.

Dado lo anterior el estudio pretende reconocer si los odonatos son buenos indicadores ambientales asociándolos con la pérdida de cobertura boscosa. El desarrollo de este trabajo se encuentra organizado de la siguiente forma, en el primer capítulo se describen los antecedentes históricos y la definición de la biogeografía, además se menciona la biodiversidad de México enfatizando en la diversidad de orden *Odonata*, así como las características del grupo de estudio y su uso como bioindicador.

El segundo capítulo aborda los antecedentes históricos y las características de manejo de las ANP, además de describir las características de la Reserva de la Biosfera los Tuxtlas, Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa y Reserva de la Biosfera Calakmul; siendo las áreas con mayor riqueza de odonatos consideradas en esta investigación.

El tercer capítulo contiene la metodología para obtener la riqueza del grupo de interés a nivel nacional por medio de cuadrículas a dos escalas espaciales (5,000 km² y 2,500 km²), obtenida por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG). También explica cómo se calculó la diversidad alfa con los índices de ICE y Chao, mediante el software EstimateS versión 9.1.0 (Colwell, 2013). Y finalmente como se estimó con el uso de imágenes satelitales Landsat la deforestación y la perturbación de los bosques de las ANP, gracias al software CLASlite (Carnegie Landsat Analysis System) versión 3.3 (CLASlite Team, 2013).

Para finalizar, en la sección conclusiones se discuten los resultados obtenidos sobre la riqueza y el cambio en la cobertura boscosa para las cuatro ANP abordadas en la investigación y si hay relación entre las dos variables, argumentando si los odonatos son buenos bioindicadores en la evaluación de ecosistemas asociados a su distribución geográfica, limitantes del estudio y la aportación de este trabajo a la geografía.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de la pérdida de la cobertura boscosa en el hábitat del grupo *Odonata* en las ANP con alta diversidad en México por actividad antropogénica.

Objetivos particulares

- 1) Cuantificar la riqueza alfa de odonatos en las ANP terrestres de México.
- 2) Estimar con el uso de imágenes satelitales Landsat la deforestación y la perturbación de la cobertura boscosa de las ANP con mayor riqueza.
- 3) Reconocer la relación entre la diversidad de odonatos y el cambio en la cobertura boscosa de las ANP con más riqueza.

Hipótesis

La hipótesis del estudio supone que, dado que las ANP son territorios que resguardan y protegen de manera prioritaria la diversidad biológica del país, y que muchas especies de odonatos son muy sensibles al deterioro de su hábitat; las ANP deberían tener una importante presencia de especies de odonatos. Dado lo anterior, se espera que haya una relación entre el cambio de la cobertura boscosa y la riqueza en el número de especies. Es decir, si hubiera una pérdida considerable en la cobertura boscosa se creería que habría una disminución en la riqueza de especies por la destrucción o deterioro en su hábitat a causa de la actividad antropogénica, y viceversa, si no hay una disminución en la cobertura, la riqueza se podría mantener o incluso aumentar.

Capítulo 1. Biogeografía, biodiversidad y odonatos

1.1. La biogeografía dentro de la geografía

La geografía es una ciencia que tiene como objeto de estudio la relación entre la naturaleza y la sociedad, y sus consecuencias en la superficie terrestre (Ballesteros, 2000). Una de las preocupaciones derivadas de esa interacción son los problemas ambientales y sus consecuencias en la superficie terrestre, por lo que se ha apoyado de otras disciplinas.

Dado lo anterior, conocer la disposición en el espacio geográfico de la diversidad de especies ha sido uno de los patrones más estudiados por los biogeógrafos (Morrone y Escalante, 2016:21), que ayuda ante las problemáticas de conservación de la diversidad biológica. Por lo que, el principal propósito de la biogeografía es la descripción y el análisis, en términos causales (Zunino y Zullini, 2003), y tiene como intereses centrales: 1) descubrir patrones en la distribución espacial de los distintos grupos de organismos, tanto actuales como extintos y, 2) investigar las causas que los han producido (Bueno y Llorente, 2001:162).

En resumen, según Morrone (2004) estudia:

La distribución de los seres vivos en el espacio y tiempo, al reconocer patrones de distribución, proponer hipótesis acerca de los procesos que los causaron y proporcionar un sistema de regionalización biótica del planeta (Morrone, 2004:149).

1.1.1. Antecedentes históricos

La biogeografía es una ciencia que surge como tal durante el siglo XVIII (Espinosa *et al.*, 2002) y ocupa un lugar intermedio entre “la geografía, la geología y la biología, siendo practicada por sistemáticos, ecólogos, paleontólogos y geógrafos, entre otros” (Morrone, 2004:149), por lo cual es una ciencia interdisciplinaria. Una de las principales interrogantes que dio pauta al estudio biogeográfico fue la concepción sobre la distribución del hombre, las plantas y los animales sobre la superficie del planeta; debido a varios mitos y leyendas de las regiones más antiguas, por ejemplo “el *Libro del Génesis* donde puede encontrarse la idea primordial que a partir de un lugar de la Tierra los seres vivientes llegaron a cubrir la superficie habitable por dispersión” (Espinosa *et al.*, 2002:5).

Así pues “surgen ideas tales como la existencia de “centro de origen” de la vida, de un “centro de dispersión” de los seres vivos y finalmente de un “centro de dispersión y diferenciación”, por lo menos para la especie humana, están presentes y son reconocibles en los relatos sobre el Jardín del Edén, el Arca de Noé y la Torre de Babel” (Zunino y Zullini, 2003:5). Cabe mencionar que la cosmovisión sobre el origen de la vida y su distribución es diferente en cada grupo cultural, dado un espacio y tiempo definido.

Con lo anterior, se comenzaron diversas expediciones para corroborar o desmentir ciertas hipótesis (ej. la obra de Buffon *Histoire naturelle, générale et particulière* y Alejandro Von Humboldt con el *Ensayo sobre la Geografía de las Plantas* en 1805) a diferentes partes del mundo (Viejo Mundo y Nuevo Mundo) para observar que la distribución de varios taxones coincidía en diferentes lugares (o no), con el fin de replantear las ideas religiosas sobre las científicas que empezaban a surgir, por la distribución de organismos en islas y la idea de la existencia de antiguas conexiones terrestres entre continentes. Así pues, se dio pauta a la teoría de los “puentes intercontinentales”, para posteriormente llegar a la hipótesis de “la geología movilista”; ese paralelismo entre la evolución de la Tierra y la vida (*Ibid.*), además de reconocer varios centros de origen y no solo uno como se creía anteriormente.

El resultado de las observaciones en las expediciones formuló una nueva postura, conocida como “Ley alopátrica¹” o “Ley de Buffon”, que dice que “entre el Viejo y Nuevo Mundo no hay especies de mamíferos en común” es decir que, a pesar de que existan lugares con condiciones climáticas similares en ambos continentes, lo que determina que haya especies diferentes en ambos lugares son las históricas (Mayer-Goyenechea, 2009:10), representando uno de los antecedentes más importantes del evolucionismo y abriendo camino a las ideas de Lamarck y más tarde de Darwin y Wallace.

Para Jean-Baptiste de Lamarck (1809) en el libro *Filosofía zoológica*, la primera tentativa razonable sobre la evolución se basa «en la capacidad de los individuos de alterar su fisiología, su conducta o sus atributos como resultado desafío del ambiente (una suerte de “acomodación” al mismo)» (Klimovsky, 1994:176), y que éstos, a su vez, son hereditarios

¹ Se produce por la disyunción o separación física de una población ancestral en dos subpoblaciones, que evolucionan independientemente (Morrone y Escalante, 2009:6).

con el fin de asegurar la perpetuación de la especie; no obstante, la teoría mostraba algunos inconvenientes puesto que no explicaba la naturaleza de todas las especies.

Después, Agustín P. De Candolle (1820) dio un gran avance a la biogeografía, con la propuesta de dividir a la Tierra en reinos y regiones biogeográficas (De Candolle y Sclater), los cuales a su vez fueron divididas en regiones más pequeñas, denominadas subregiones, dominios, provincias y distritos (Contreras-Medina *et al.*, 2003), puesto que los espacios representaban características en común.

Asimismo, destacó la distinción entre estaciones (hábitats) y habitaciones (regiones botánicas), es decir “las estaciones dependen de causas físicas que actúan en el presente, mientras que las explicaciones de las habitaciones dependen de causas que se presentaron en el pasado” (Morrone y Escalante, 2016:37); posteriormente, se le asignó el estudio de las estaciones a la biogeografía ecológica y de las habitaciones a la biogeografía histórica, siendo unas de las principales divisiones de la biogeografía respectivamente.

Más adelante en 1859, con la aparición de *El origen de las especies* de Darwin, y posterior con la obra de Wallace (Espinosa *et al.*, 2002), se sentaron nuevas ideas dispersalista² sobre la distribución de las especies. Darwin fue el primer autor en postular que los hechos de la distribución geográfica podrían explicarse por la combinación de una teoría de la evolución con el estudio de la dispersión de los taxones de plantas y animales (Morrone y Escalante, 2009).

En otras palabras, afirmaba que las especies cambian de forma continua y gradual, que todas descienden de un único antepasado común, y que la evolución es resultado de la selección natural (Gould y Leal, 2004), pese a que las características físicas del medio sean iguales en diferentes partes de la Tierra.

² El naturalista británico Charles Lyell (1797-1875) fue el primer autor que articuló el modelo dispersalista clásico el cual fue desarrollado con posterioridad por Darwin y Wallace (Morrone y Escalante, 2016:40). El dispersalismo supone que las especies se originan en centros de origen, en general de extensión limitada, a partir de los cuales se dispersan al azar, atraviesan barreras preexistentes y colonizan nuevas áreas (Morrone y Escalante, 2009:82).

Del mismo modo, Wallace siguió fielmente las ideas de Darwin en lo referente a la selección natural de las especies y por lo tanto a su distribución y el concepto de dispersión sobre una geografía estable (Saujame y Villanueva, 1999). Sin embargo, aunque las ideas de ambos eran similares, Darwin sostuvo el fenómeno evolutivo primordial y que éste se podía explicar con la biogeografía, por el contrario, Wallace consideraba las hipótesis evolutivas como respaldo de las interpretaciones biogeográficas.

Posteriormente, en la segunda mitad de siglo XX, otro gran aporte surgía previo a lo mencionado, la teoría de la deriva continental de Alfred Wegener, desmintiendo la idea de “puentes continentales” y explicando cómo es que la distribución de las especies coincidía en diversos sitios pese la distancia, relacionando la edad de la dispersión y la edad geológica (Morrone y Escalante, 2016). Su teoría radica en la movilidad relativa, en la superficie de nuestro globo, de los continentes afectados de una deriva tangencial, en curso de la serie de los periodos geológicos (Joleaud, 1924)³, durante la etapa más antigua se le denominó Pangea (toda tierra) hasta que los continentes se desplazaron para ocupar sus actuales posiciones.

Lo anterior, más allá de concretar las ideas dispersionistas, en el que las especies se expanden a sitios favorables, ampliando su área de distribución (Morrone y Escalante, 2016) condujo a la biogeografía de la vicarianza (Espinosa *et al.*, 2002), la cual sostiene que la causa de la especiación alopátrida es el cambio geológico que involucra la aparición de una barrera que permite la fragmentación de la distribución de la especie ancestral y no la migración, porque los cambios tectónicos fragmentaron las biotas y provocaron un aislamiento (Morrone y Escalante, 2009).

Durante la historia de la biogeografía se han desarrollado varios enfoques diferentes, sin embargo, los de mayor relevancia pueden clasificarse en dos grandes campos, denominados biogeografía ecológica y biogeografía histórica (Morrone, 2004). El primer autor en proponer esta distinción fue De Candolle (1820), la biogeografía ecológica se construye sobre el estudio de las causas físicas que actúan en el tiempo presente, mientras que la biogeografía histórica busca rastrear los eventos donde las causas han desaparecido (Hugot, 2002). A pesar de la división que se propone que la parte ecológica e histórica no son independientes, ya que

³ Salvo indicación contraria, todas las traducciones en este trabajo son propias.

los cambios históricos (escala espacio-temporal grande) pueden afectar la distribución de ciertos organismos ecológicamente (escala espacio-temporal pequeña) y viceversa.

De tal manera que Haydon (1994) conceptualiza a la biogeografía como “equilibrada”, representada en un espacio triangular donde muestra las interacciones entre los procesos biológicos o ecológicos (1), históricos (2) y estocásticos (3), donde se busca el consenso entre las perspectivas que a menudo son contradictorias (Morrone y Escalante, 2016) (Figura 1).

La primera división hace énfasis a las características biológicas del taxón, mientras que la segunda se refiere a la historia que refleja un lugar en los patrones biogeográficos de diferentes taxones y la tercera considera la probabilidad de que una función variable de cualquier patrón biogeográfico no pueda atribuirse a causas deterministas (*Ibid.*).

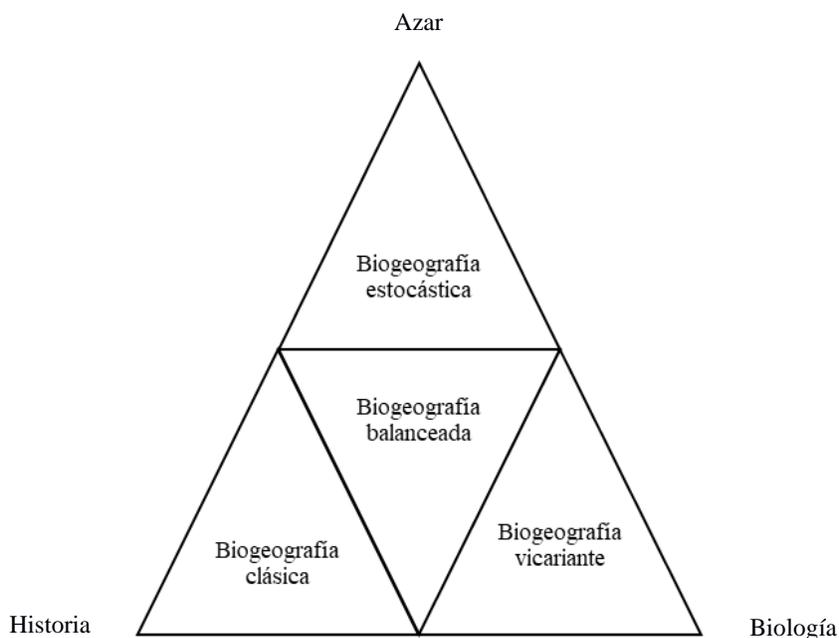


Figura 1. Biogeografía balanceada de la ecología, historia y azar

Fuente: Morrone y Escalante, 2016:20.

1.2. Biodiversidad

En 1985, el término biodiversidad o diversidad biológica fue utilizado por primera vez por Walter Rosen del Nacional Research Council de los Estados Unidos (Martínez-Meyer *et al.*, 2014). Así pues, al hablar de cualquiera de los dos términos hace referencia al mismo. El

empleo de la palabra surgió ligado a las instituciones académicas y organismos nacionales e internacionales dedicados a la conservación biológica (Toledo, 1994).

Así pues, la biodiversidad define como:

Todas las formas en que la vida se manifiesta en la Tierra. En su sentido más amplio, la biodiversidad no se limita al número de especies que han existido en la historia de la vida, sino que también incluye desde la variación genética en individuos y poblaciones, hasta la diversidad de ecosistemas⁴ y biomas⁵ (Martínez-Meyer *et al.*, 2014:2) (Figura 2).

Es importante mencionar que la biodiversidad surge de procesos y patrones ecológicos y evolutivos irrepetibles (Núñez *et al.*, 2003) y que no se encuentra distribuida de manera homogénea a nivel mundial. La presencia o ausencia de algún taxón⁶ depende tanto de las características físicas que posee cada territorio y de las características biológicas que posee la especie. De ahí que solo algunos países puedan albergar mayor o menor diversidad en su territorio, en el primer caso se les conoce como países megadiversos, que son el conjunto de países cuya riqueza reunida representa entre 65 y 70 % de la biodiversidad global (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008) ubicando al país en el cuarto lugar (en cuanto a número de especies) de los 17 países megadiversos como Australia, Brasil, China, Colombia, Congo, Ecuador, Estados Unidos de América., Filipinas, India, Indonesia, Malasia, Madagascar, Perú, Papúa Nueva Guinea, Sudáfrica y Venezuela (*Ibid.*).

⁴ Los diferentes tipos de ecosistemas se definen por el conjunto de organismos encontrados en ellos, por ejemplo, bosque, suelo, pradera (Lawrence, 2013:196). Es el área de cualquier tamaño con una asociación de comunidades bióticas y su ambiente físico, así como los procesos en ellos, incluyendo el flujo de energía a través del sistema. (Morrone y Escalante, 2009:92).

⁵ Grupo de comunidades en una misma región o en un continente, que comparten similitudes fisionómicas y condiciones ambientales (Morrone y Escalante, 2009:36).

⁶ Los miembros de cualquier grupo taxonómico, por ejemplo, una especie, un género o una familia (Lawrence, 2013:600).

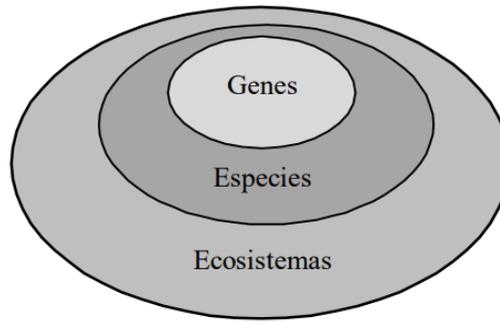


Figura 2. Niveles de organización incluidos en el concepto de biodiversidad

Fuente: tomado de CONABIO, 1998:62.

Aunque la diversidad reconoce diferentes niveles de organización, para comprender la variación de la biodiversidad espacialmente, la mayoría de los análisis toman como medida el número de especies observadas o estimadas que se encuentran en un área determinada (riqueza de especies) (Rodríguez y Vázquez-Domínguez, 2003). A partir de lo anterior, surge la idea de separar a la diversidad en tres componentes, alfa, beta y gamma, según Whittaker (1960), para analizar la riqueza a diferentes escalas. Estas escalas son gran utilidad en el conocimiento del territorio para medir y monitorear los efectos de las actividades humanas (Moreno, 2001) con el fin de proteger y conservar la diversidad.

Según Whittaker (1972), los tres aspectos o niveles de la diversidad son los siguientes (*Ibid.*:21):

- Diversidad alfa: es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea
- Diversidad beta: es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje
- Diversidad gamma: es la riqueza de especies del conjunto de comunidades que integran un paisaje, resultante tanto de las diversidades alfa como de las diversidades beta.

Cabe mencionar que para el estudio solo se obtuvo la diversidad alfa, ya que solo se desea conocer el número de especies en las ANP de manera homogénea.

1.2.1. Biodiversidad de México

El territorio mexicano abarca una extensión de 1,953,162 km² (CONABIO, 1998). Se halla en la zona intertropical (franja de los desiertos y sabanas) del planeta por su situación geográfica (latitud). Sin embargo, la historia geológica, resultado de la interacción de cinco placas tectónicas (Norteamericana, del Pacífico, Rivera, de Cocos y del Caribe) conforman un territorio en el que la altitud desempeña un papel primordial y modifica radicalmente el medio (Coll-Hurtado, 2003), con regiones de edades geológicas diversas y una topografía variada por proceso de plegamiento o vulcanismo⁷, con más del 50% del territorio en altitudes mayores de 1000 metros sobre el nivel de mar (msnm) (CONABIO, 1998).

Otros factores que amplían la posibilidad de encontrar una gama enorme de macroclimas y microclimas son la influencia de las masas oceánicas, circulación de la atmósfera y extensión de costas (García de Miranda, 2012). Por esto, se pueden ver todos los climas representados en el país, desde muy secos en el norte, hasta subhúmedos y muy húmedos al sur; templados al centro del territorio, tropicales en costas y depresiones, y fríos en los picos de las montañas más altas (encima de los 4000 metros de altitud) (Espinosa y Ocegueda, 2008).

En resumen, en los casi dos millones de kilómetros cuadrados (km²) que abarca el territorio mexicano, alberga alrededor del 10% de la diversidad biológica del mundo (Rodríguez *et al.*, 2003), de las cuales algunas destacan en la riqueza de endemismos, es decir especies exclusivas de México y que no se encuentran en otro lugar. Además, se ha reconocido que el país es betadiverso, es decir, la composición de especies de un sitio a otro (regiones o localidades) cambia notablemente (Rodríguez, 2009).

Según el Quinto Informe Nacional de México ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica de CONABIO (2014) el siguiente cuadro representa el conocimiento de la diversidad de especies nativas de México:

⁷ Por plegamiento sobresale la Sierra Madre Oriental y Sierra Madre del Sur, mientras por vulcanismo la Sierra Madre Occidental y Faja Volcánica Transmexicana, además hay relieve confinado el Altiplano Central depresiones como la de Balsas y Chiapas (Espinosa y Ocegueda, 2008).

Cuadro 1. Especies descritas y estimadas para México

Grandes grupos taxonómicos	Especies descritas de México*	Especies estimadas en México*	Especies descritas en México reportadas en la literatura 2014**
Bacterias, protoctistas, hongos, briofitas y algas	12 198	17 716	12 425
Plantas vasculares	25 008	22 000 a 31 000	25 008
Invertebrados no artrópodos	7 252- 7 452	ND	9 815***
Artrópodos	59 995-60 080	91 199 a 117 869	113 783
Vertebrados	5 488	5 658	5 696

Fuente: *Llorente y Ocegueda 2008, **SNIB-CONABIO 2014

***Incluye los grupos: Porifera, Placozoa, Cnidaria, Annelida, Onichophora, Tardigrada, Mollusca y Echinodermata

Fuente: tomado CONABIO, 2014: 29.

Por otro, en cuanto a la diversidad de los ecosistemas, el siguiente cuadro muestra una aproximación de la extensión de cada uno según Challenger y Soberón (2008):

Cuadro 2. Extensión de ecosistemas de México

Vegetación	Cobertura original (millones de ha)	%	Superficie actual		
			Condición Primaria	Condición Secundaria	% pérdida
Bosques tropicales perennifolios	17.82	9.4	3.16	6.31	46.9
Bosques tropicales caducifolios	33.51	17.6	7.93	14.19	34.0
Bosques mesófilos de montaña	3.09	1.6	0.87	0.95	41.1
Bosques templados de coníferas y latifoliadas	43.96	23.2	21.19	11.13	26.5
Matorrales xerófilos	70.49	37.1	531	5.36	17.1
Pastizales	18.68	9.8	8.42	4.12	32.9
Humedales	2.34	1.2	1.22	0.07	44.9

Fuente: tomado de Martínez-Meyer *et al.*, 2014:5.

Observando las cifras estipuladas sobre la diversidad del país (Cuadro 1 y 2), muestran estimaciones de los grupos taxonómicos y superficie de ecosistemas, sobre lo descrito y lo que se estima tener. Referente a las especies, es complicado tener un registro completo sobre la ubicación geográfica de los sitios de colecta u observación (Halfpter y Ecurra, 1992), por la accesibilidad a su hábitat⁸, la complejidad del territorio y la dinámica que tienen al no respetar límites político-administrativos; la disposición espacial de las especies no es azarosa, responde a condiciones históricas y ecológicas.

1.2.2. Importancia de la biodiversidad

El planeta ha experimentado grandes cambios a lo largo de las diferentes eras geológicas, sin embargo, se ha sugerido que actualmente nos encontramos en una de las más catastróficas por el deterioro al medio ambiente y pérdida de especies, conocida como el “Antropoceno”, caracterizada por la omnipresencia de la huella humana (Challenger *et al.*, 2009), en gran medida se debe al acelerado incremento demográfico y el uso de la tecnología. Entre las principales causas: la pérdida de los hábitats, el cambio climático, la introducción de especies invasoras, la sobreexplotación de los recursos naturales y la contaminación (CONABIO, 2010).

Se ha demostrado que el cambio en el uso de la tierra y la deforestación afecta la biodiversidad de muchos taxones (Cuevas-Yáñez *et al.*, 2017), se ha visto que la deforestación puede conducir a la degradación de los ríos, lo que produce un aumento de los niveles de sedimentación, cambios en los ciclos hidrológicos y una disminución grave de la calidad del agua debido a los efluentes químicos (Carvalho *et al.*, 2013:11), causando impactos que son diferentes según la taxa ya que uno grupos son más resistentes que otros (Hansen *et al.*, 2001).

En el país, algunos acontecimientos históricos y periodos han provocado ese deterioro de los ecosistemas por deforestación y fragmentación de vastas superficies (Challenger *et al.*, 2009). Algunos ejemplos en el país son la conquista y la Revolución Industrial, así como a políticas de fomento y campañas para erradicar depredadores de ganado (lobos, osos, pumas

⁸ Suma de condiciones ambientales de un sitio determinado, que es ocupado por un organismo (Morrone y Escalante, 2009:121).

y coyotes), la Reforma Agraria, el Programa Nacional de Ganaderización, Programa Nacional de Desmonte (PRONADE), los Programas de Inversiones Públicas para el Desarrollo Rural (PIDER) (Bravo *et al.*, 2010), solo por mencionar algunos; cuyo objetivo era destinar “tierras ociosas” para el desarrollo de ganadería, agricultura y vivienda con el fin de cubrir sus necesidades, o bien encaminados a la erradicación de especies que intercedían en el desarrollo de actividades económicas.

En México, la tasa de deforestación oscila entre quinientas mil y seiscientas mil hectáreas (ha) anuales (*Ibid.*), provocando el desmonte de grandes extensiones de vegetación natural, la mayoría pertenecientes a bosques tropicales, causando cambios en la temperatura de suelo, disponibilidad de alimento, refugios, sitios de reproducción, fragmentación o reducción del hábitat de diferentes taxones, entre otros. También, a causa de la deforestación la población perdió el sustento que les daban los bosques y las selvas (Martínez-Meyer *et al.*, 2014), de ahí la importancia de la biodiversidad.

Dicho lo anterior, los servicios ecosistémicos se definen como “el conjunto de organismos, condiciones abióticas y sus interacciones, el que permite que los seres humanos se vean beneficiados” (Balvanera y Cotler, 2007:10).

Los servicios ecosistémicos mantienen la biodiversidad y la producción de bienes como materias primas (servicios de provisión), equilibrio en ciclos naturales y enfermedades (servicios de regulación), procesos formadores de suelo que sirven como sustento (servicios de soporte) y el valor escénico, recreativo y simbólico (servicios culturales), como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Servicios y beneficios que presentan los ecosistemas

Servicios de provisión o abastecimiento	Servicios de regulación
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alimentos ▪ Agua dulce ▪ Madera y fibras ▪ Combustibles 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Del clima (protección contra eventos extremos, como inundaciones) ▪ Control de erosión ▪ Regulación de polinizadores ▪ Enfermedades ▪ Purificación del agua
Servicios de soporte	Servicios culturales
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reciclado de nutrientes ▪ Formación de suelo ▪ Productividad primaria 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estéticos ▪ Espirituales ▪ Recreativos ▪ Educativos

Fuente: tomado de CONABIO, 2006:21.

Retomando lo anterior, es importante reducir el deterioro acelerado de los ecosistemas porque proveen de servicios vitales para la sociedad. La afectación de los ecosistemas tiene escalas temporales y espaciales diferentes, en las que influyen las políticas, variables socioeconómicas y diversidad cultural (Castellanos-Villegas *et al.*, 2010); además, la heterogeneidad del territorio vuelve un reto conocer y conservar porciones que sean representativas de la gran biodiversidad (Sarukhán *et al.*, 2009), por lo que se vuelve trascendental proteger un mayor número de lugares.

La respuesta ante las crecientes amenazas ha sido proponer espacios destinados a la protección y conservación, conocidas como ANP. Aunque en un principio fueron elegidas por su belleza escénica o de forma oportunista, para la política ambiental fungen como la principal estrategia para salvaguardar la biodiversidad, con lo cual se ha logrado consolidar instrumentos y han incrementado sustancialmente a lo largo del territorio, reconociendo la prioridad de la riqueza que se posee y su relación con la sociedad.

1.3. Diversidad del orden Odonata

El orden *Odonata*⁹ incluye organismos como libélulas y caballitos del diablo, los cuales conforman a uno de los de grupos de insectos mejor conocidos respecto a su taxonomía, biogeografía y ecología (González-Soriano y Novelo-Gutiérrez, 2014). Son considerados un grupo antiguo dentro de la clase Insecta (Escoto-Moreno, 2014a), aparecieron hace casi 300 millones de años, incluso antes que los dinosaurios, pero a diferencia de estos últimos, han logrado sobrevivir hasta la actualidad (Córdoba-Aguilar y Suárez-Tovar, 2017). Según el registro fósil¹⁰ que se conoce de los primeros ancestros de estos insectos volaron en los periodos Carbonífero y Pérmico (Escoto-Moreno, 2014b)¹¹.

En el territorio nacional existen 355 especies de odonatos de las cuales 49% se considera endémico (Córdoba-Aguilar y Suarez-Tovar, 2017) (Cuadro 4), que representa 6.1% de la fauna del mundo estimada en alrededor de 5,827 especies (González-Soriano y Novelo-Gutiérrez, 2014).

Cuadro 4. Número de especies de Odonata de México por familia

Zygoptera (150)	
Amphipterygidae (2)	Calopterygidae (10)
Coenagrionidae (96)	Lestidae (11)
Megapodagrionidae (7)	Perilestidae (1)
Platystictidae (8)	Polythoridae (1)
Protoneuridae (9)	Pseudostigmatidae (5)
Anisoptera (205)	
Aeshnidae (30)	Cordulegastridae (3)
Gomphidae (65)	*Libellulidae (107)

*En la presente lista seguimos los criterios de Garrison *et al.* (2006), quienes señalan que la familia Libellulidae (*sensu lato*) está compuesta de las siguientes subfamilias: Corduliinae, Macromiinae y Libellulinae.

Fuente: tomado de González-Soriano y Novelo-Gutiérrez, 2014:246.

⁹ Esta palabra es de origen griego y quiere decir “dientes”, refiriéndose a sus grandes mandíbulas y su mordida fuerte (Córdoba-Aguilar y Garay, 2017).

¹⁰ Los odonatos antiguos eran más grandes que los actuales, los restos fósiles indican que median hasta un metro de largo (Córdoba-Aguilar y Garay, 2017).

¹¹ Cuando en la mayor parte del planeta existían condiciones tropicales y los bosques pantanosos eran dominados por helechos arborescentes y licopodios (Escoto-Moreno, 2014b).

La disposición de odonatos es principalmente en lugares cálidos y tropicales, sin embargo, algunas especies viven en climas fríos (Córdoba-Aguilar y Garay, 2017), especialmente se les encuentra en áreas abiertas dentro del bosque o cerca de cuerpos de agua (Clavijo-Calderón y Cázares-Rodríguez, 2016). Pueden vivir en una amplia variedad de hábitats, sin embargo, la hidrología es uno de los factores que influyen más en la distribución y en los ciclos de vida (Escoto-Moreno *et al.*, 2014b), debido a la fuerte asociación con el agua debido a sus larvas acuáticas (Manwar *et al.*, 2011).

También otro factor importante son las estructuras de la vegetación, porque proveen de áreas sombreadas (Claunitzer *et al.*, 2009) para realizar sus actividades como la alimentación, prevención, reproducción y crianza de depredadores (Izzat-Husna y Ahmad, 2014). Además, poseen una gran capacidad de dispersión, capaces de desplazarse de América del Norte a hasta 2800 km al sur (Sánchez-Herrera y Ware, 2012).

En resumen, los odonatos requieren en su hábitat cuerpos de agua y vegetación para poder prosperar, no obstante, el impacto de las actividades humanas ha provocado la degradación en sus espacios de distribución, por lo que algunas especies se han adaptado a la urbanización y usan cuerpos de agua artificiales (González-Soriano y Novelo-Gutiérrez, 2014).

1.3.1. Características del grupo

El orden *Odonata* se divide en dos grupos o infraórdenes: *Zigóptera* y *Anisóptera* (Cuadro 5), con diferencias morfológicas. El infraorden *Zigóptera* requiere de un ambiente heterogéneo (McPeck, 2008), con disponibilidad de vegetación riparia para descanso dada su reducida capacidad de vuelo, zonas de alimentación, zonas de reproducción y zonas de refugio para los depredadores (Júnior *et al.*, 2015). Por otro lado, el infraorden *Anisóptera* es más tolerante a perturbaciones debido a su tamaño y capacidad de vuelo, usa zonas de movimiento más amplias y hacen un mejor uso de luz de sol debido a su capacidad termorreguladora (De Marco y Resende, 2002).

Cuadro 5. Comparación entre los dos infraórdenes de odonatos

Zigópteros (Caballito del diablo)	Anisópteros (Libélulas)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tamaño pequeño a mediano (2 a 6 cm), excepto en seudostigmáticos (\pm 12 cm) ▪ Cuerpo delgado ▪ Cabeza (vista de frente) alargada transversalmente, con los ojos muy separados entre si ▪ Alas angostas en su base, ambos pares muy parecidos. La mayoría de las familias las mantiene cerradas hacia arriba cuando se posan ▪ Hembras de todas las familias con oviscapto ▪ Vuelo lento 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tamaño pequeño a muy grande (2 a 9 cm) ▪ Cuerpo grueso ▪ Cabeza (vista de frente) generalmente redonda, con los ojos juntos o próximos entre si ▪ Alas anchas. El primer par diferente al segundo en forma y venación. Se mantienen abiertas durante el reposo ▪ Hembras con oviscapto solo en dos familias ▪ Vuelo rápido

Fuente: tomado de Esquivel, 2006:43.

Los odonatos tienen un ciclo de vida complejo, ya que presentan una fase larvaria acuática y fase adulta terrestre (Figura 3). Cuando son adultos son “aviadores” fuertes capaces de volar a larga distancia, además de migración estacional (Córdoba-Aguilar, 2008)¹², en busca de zonas de alimentación, reposo, refugio y reproducción. Cabe mencionar que el recurso agua es un factor importante, ya que los odonatos adultos usan casi todo tipo de hábitats como estanques, lagos, ríos, arroyos, corrientes, pantanos y marismas (Izzat-Husna y Ahmad, 2014).

En los cuerpos de agua se dan cita para su reproducción: ovipositan en tándem, también copulan¹³ cerca del agua y se desplazan para depositar los huevos (Paulson, 2009). Cabe señalar que encontrar ciertas especies en un cuerpo de agua y no otras, da pauta a la diferencia de requerimientos ambientales ya que unas son más sensibles a afectaciones negativas en su medio ambiente producidas generalmente por factores antrópicos como la contaminación.

¹² La migración más larga en insectos (odonatos) y la única transoceánica, en la especie *Pantala flavescens* conocida comúnmente como “planeador errante”, que viaja desde el sur de la India hasta las Islas Maldivas atravesando parte del océano Índico (Córdoba-Aguilar y Suárez-Tovar, 2017:8).

¹³ La posición copulatoria, o rueda, es exclusiva del grupo *Odonata* (Paulson, 2009).

Los huevos se depositan directamente en el agua, en el material de fondo o los inserta en vegetación acuática como soporte (*Ibid.*). La duración de la incubación de los huevos es muy variable en función de las condiciones ambientales de una especie a otra y en la misma especie (Jourde, 2010), puesto que no tienen las mismas necesidades referente a las características biológicas y físicas del medio acuático en el que ellas viven (Merlet y Itrac-Bruneau, 2016), por lo que los huevos pueden eclosionar en unos días o después de un mes o más, incluso los huevos hibernan y eclosionan en la primavera siguiente (Paulson, 2009).

La vida de los odonatos es diferente en la etapa de larva y adulta, no obstante, en ambas son depredadores carnívoros, considerados depredadores clave en ecosistemas acuáticos y terrestres (Knight *et al.*, 2005). Varias especies de odonatos son “una fuente de alimento importante para peces, aves, anfibios, crustáceos e insectos, incluso de otros odonatos, colocándolas como especies clave para el funcionamiento del ecosistema” (Lis *et al.*, 2002:348). Además, juegan un papel importante en el control biológico de otros organismos, siendo depredadores de otros insectos que pueden ser plagas en cultivos o vectores de enfermedades (Clavijo-Calderón y Cázares-Rodríguez, 2016).

Después que se cumple el desarrollo larvario, comienza la emergencia que es cuando un odonato deja su cuerpo de larva, para mudar a la fase terrestre como adulto y levantar el vuelo. El periodo de emergencia cambia según la especie, tiene lugar por encima del agua, sobre plantas o en la orilla, para madurar (Riservato *et al.*, 2009); además ocurre en diferente momento debido a la temperatura del medio, ya que algunas lo hacen de día durante los periodos más cálidos y otras durante la noche o después de la puesta de sol (odonatos más grandes) para levantar vuelo (Paulson, 2009), repitiendo nuevamente el ciclo de vida.

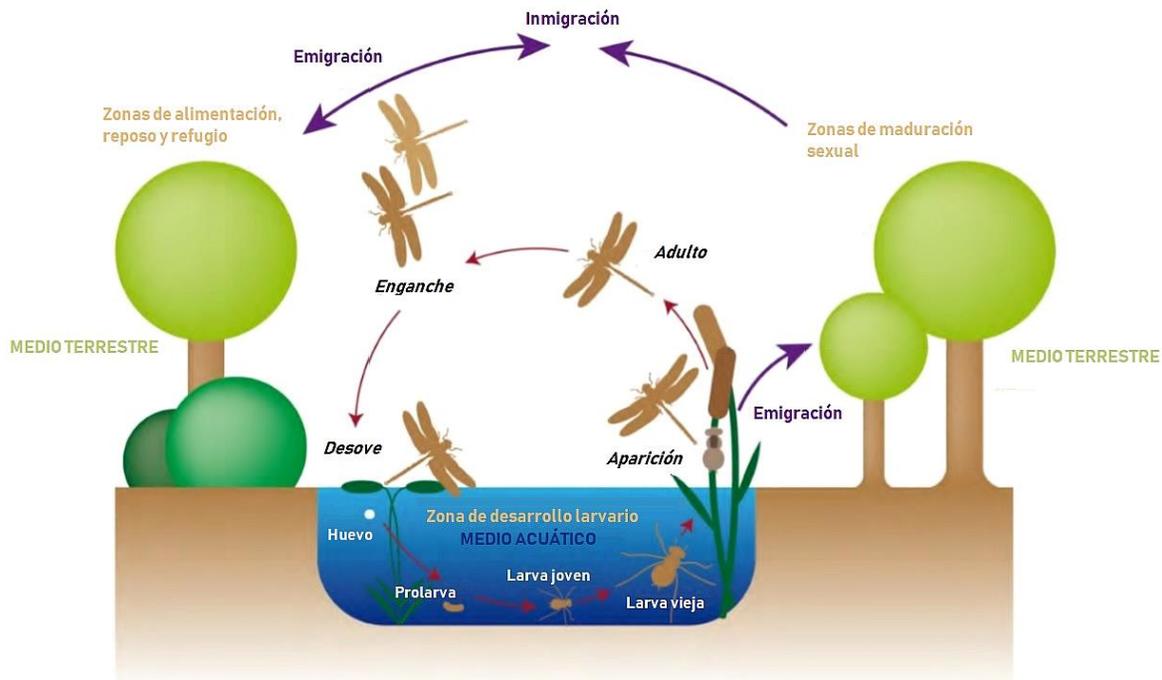


Figura 3. Ciclo de vida de los odonatos

Fuente: modificación de Merlet y Itrac-Bruneau, 2016:96.

1.3.2. Uso de odonatos como bioindicadores

Los bioindicadores son herramientas clave para mitigar el impacto humano en la biota y para lograr el desarrollo sustentable, porque ofrecen “la posibilidad de evaluar el estado de salud del ecosistema antes de que este se vea comprometido funcionalmente, y permiten la detección de respuestas biológicas a escala comunitaria que pueden informar los responsables políticos” (Clavijo-Calderón y Cázares-Rodríguez, 2016:2).

Los odonatos son usados como bioindicadores en hábitats tanto acuáticos como terrestres (Oertli, 2008), puesto que se usan para mostrar el impacto de la actividad humana en el medio en que se encuentran por su sensibilidad hacia actividades antropogénicas (Izzat-Husna y Ahmad, 2014), además hay especies específicas que se hallan en ciertos hábitats, aun cuando los odonatos tienen una amplia distribución (Silva *et al.*, 2010).

En el ambiente, algunos factores que influyen en su sensibilidad son la calidad de agua, el cambio de uso de suelo y la temperatura; afectando las condiciones en el sitio de reproducción

y el área terrestre circundante, ya que reaccionan rápidamente a los cambios en la calidad ambiental a través de la dispersión (Kutcher y Bried, 2014). Por lo anterior, los odonatos son considerados “termómetros” de la calidad del medio ambiente porque “(1) Se encuentran en todos hábitats acuáticos de agua dulce, (2) sus larvas tienen tolerancia específica a las perturbaciones ambientales, (3) muchas especies tenían una etapa larval que dura al menos un año, (4) las larvas son relativamente sedentarias, (5) la dispersión de individuos adultos es rápida, por lo que pueden rápidamente reestablecer poblaciones en ambientes adecuados y, finalmente, (6) los adultos se pueden observar fácilmente debido a su comportamiento territorial en cuerpos de agua y, finalmente, (7) los adultos pueden ser fácilmente identificables” (Silva *et al.*, 2010;745).

También se han mostrado muy sensibles variaciones térmicas, porque se ven afectados en sus funciones fisiológicas como la locomoción, el crecimiento y la reproducción (Sánchez-Guillén *et al.*, 2016); provocando un cambio en su ocurrencia y abundancia. Así mismo, el cambio de uso de suelo a contribuido porque se ha visto un incremento en la eliminación de amplias áreas en las que se distribuye el grupo, que bien puede resultar contraproducente o una ventaja para los subórdenes *Zigóptera* y *Anisóptera*, respectivamente.

Además, como se ya se mencionó la calidad de los cuerpos de agua influye en la ocurrencia de especies con más tolerancia a la homogenización del ambiente a causa de actividades antropogénicas, por lo que pueden contribuir a entender problemas en la pérdida de biodiversidad por la disminución de riqueza de muchas especies como es el caso de los odonatos (Júnior *et al.*, 2015) por destrucción o deterioro de su hábitat.

Capítulo 2. Áreas Naturales Protegidas de México

2.1. Áreas Naturales Protegidas

En México, ANP constituyen la estrategia de política ambiental más empleada para la conservación de la biodiversidad y de los bienes y sus servicios ambientales (CONABIO, 2006). Las áreas son creadas mediante decretos presidenciales y tienen un programa de manejo¹⁴ respectivamente (CONANP, 2014), que ayuda a mitigar los efectos de la sociedad en las ANP como el avance de la frontera urbana, la creciente demanda de recursos naturales para satisfacer las necesidades de la población en aumento (Durand y Jiménez, 2010) y cambio de uso de suelo, entre otras.

También protegen “los entornos naturales de zonas, monumentos y vestigios arqueológicos, históricos y artísticos, así como las zonas turísticas, y otras áreas de importancia para la recreación, la cultura e identidad nacional y de los pueblos indígenas” (Vázquez-Torres, 2010:253), para futuras generaciones.

Dentro del marco jurídico las ANP son definidas por la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) como:

Las zonas¹⁵ del territorio nacional y aquéllas sobre las que la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas (artículo 44) (LGEEPA, 1988:32). Esta ley señala además de preservar los ambientes naturales, la diversidad genética de las especies silvestres, en particular las que están en peligro de extinción, las amenazadas, las endémicas, las raras y las que se encuentran sujetas a protección especial (Vázquez-Torres, 2010:253).

Las ANP surgen desde finales del siglo XIX (González *et al.*, 2014), su origen estaba encaminado a zonas boscosas sujeto a la primera Ley Forestal en 05 de abril de 1926 y su reglamento expedido el año siguiente (Melo, 2002), ambos instrumentos fungen como los

¹⁴ Los programas de manejo sirven como instrumento rector de planeación y regulación, estableciendo las actividades, acciones y lineamientos para el manejo y administración de cada área natural protegida (CONABIO, 2016a), con aspectos técnicos y normativos que involucra propuestas de las comunidades que habitan en el área respectivamente.

¹⁵ Incluyen regiones acuáticas, costeros, insulares, marítimas y terrestres.

primeros precedentes con disposiciones jurídicas que hacen alusión a las ANP con la categoría predominante de parques nacionales¹⁶ y estaban bajo la Dirección Forestal y de Caza, dentro de la Secretaría de Agricultura y Fomento durante el mandato de Lázaro Cárdenas (1935-1940). Su creación surge por la preocupación de la protección del entorno de las ciudades, con énfasis en los servicios ambientales por estar dentro de una cuenca hidrológica (Villalobos, 2000), además del valor intangible de un paisaje escénico, el interés histórico y los elementos de recreativa de la población (Melo, 2002).

Actualmente la creación y el funcionamiento de ANP se encuentra regulada por la LGEEPA (Durand y Jiménez, 2010), decretada en 1988 y reformada en 1996. Dentro de esta Ley incluye el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) creado en 1988, como un instrumento que integra áreas por su biodiversidad y características ecológicas de importante relevancia para el país (LGEEPA, 1988), de acuerdo con los siguientes criterios: “su representatividad biogeográfica, nivel de endemismos, extensión de la superficie, relictualidad, número de especies y biodiversidad, integridad de los ecosistemas, y capacidad institucional y financiera local” (Villalobos, 2000:29).

También, con ayuda del Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) creado en el año 2000, funge como órgano independiente de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), anteriormente Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), que se encarga de la administración de las ANP (CONANP, 2014). Cabe mencionar que el establecimiento y la administración de las ANP no garantizan el resguardo a largo plazo del ecosistema, porque además de la riqueza natural se debe contemplar a la población *in situ*¹⁷, puesto que los habitantes tienen una relación muy estrecha con su entorno sobre el uso y manejo de recursos que debe ser sustentable; por tal razón, las áreas protegidas tienen diferentes categorías de manejo dichas a continuación.

¹⁶ La primera área natural protegida en México corresponde al parque nacional Desierto de los Leones, establecido por decreto presidencial de Venustiano Carranza, expedido el 15 de noviembre de 1917 (Melo, 2002), con el propósito de proteger los manantiales que abastecían de agua a la Ciudad de México (Elbers, 2011).

¹⁷ Por lo menos el 20% de las áreas protegidas se encuentran en municipios con más del 30% de población indígena (Durand y Jiménez, 2000).

2.1.2. Categorías de manejo

La CONANP administra actualmente 182 áreas naturales de carácter federal¹⁸ (Figura 4) que representan 90 839 521.55 ha y apoya 388 Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación¹⁹, con una superficie de 417 562.27 ha (CONANP, 2017). Dentro de las áreas de régimen federal, están divididas en seis categorías diferentes: Reserva de la Biosfera (RB), Parque Nacional (PN), Monumento Nacional (MN), Área de Protección de Recursos Naturales (APRN), Área de Protección de Flora y Fauna (APFFyF) y Santuario (SANT) (Cuadro 6); de las cuales solo en tres categorías se permite algún tipo de uso humano de los recursos.

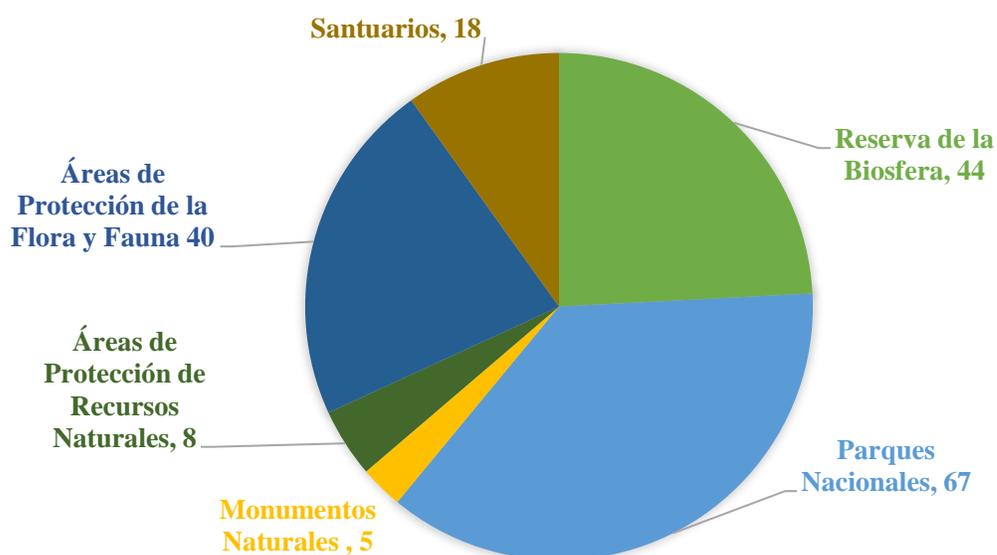


Figura 4. Áreas Naturales Protegidas

Fuente: modificado de CONANP, 2018a.

¹⁸ Las 182 áreas naturales están divididas en 9 Direcciones Regionales: 1) Región Península de Baja California y Pacífico Norte con 18 ANP; 2) Región Noroeste y Alto Golfo de California con 9 ANP; 3) Región Norte y Sierra Madre Occidental conformada con 11 ANP; 4) Región Noreste y Sierra Madre Oriental con 17 ANP; 5) Región Planicie Costera y Golfo de México con 13 ANP; 6) Región Occidente y Pacífico Centro con 27 ANP; 7) Región Centro y Eje Neovolcánico con 36 ANP; 8) Región Frontera Sur, Istmo, Pacífico Sur con 26 ANP; y 9) Región de Yucatán y Caribe Mexicano con 25 ANP (CONANP, 2018a).

¹⁹ Son propuestas por ciudadanos u organizaciones no gubernamentales (LGEEPA, 1988).

Cuadro 6. Áreas Naturales Protegidas existentes en México

Categorías de ANP	Número de ANP		Superficie	
	Cantidad	%	(ha)	%
Reserva de la Biosfera	44	24	62 952 750.5	69.3
Parques Nacionales	67	37	16 220 099.3	17.86
Monumentos Naturales	5	3	16 269.11	0.02
Áreas de Protección de Recursos Naturales	8	4	4 503 345.23	4.96
Áreas de Protección de la Flora y Fauna	40	22	6 996 864.12	7.7
Santuarios	18	10	150 193.29	0.17
<i>Total</i>	<i>182</i>	<i>100</i>	<i>90 839 521.55</i>	<i>100</i>

*Hasta mayo del año 2018

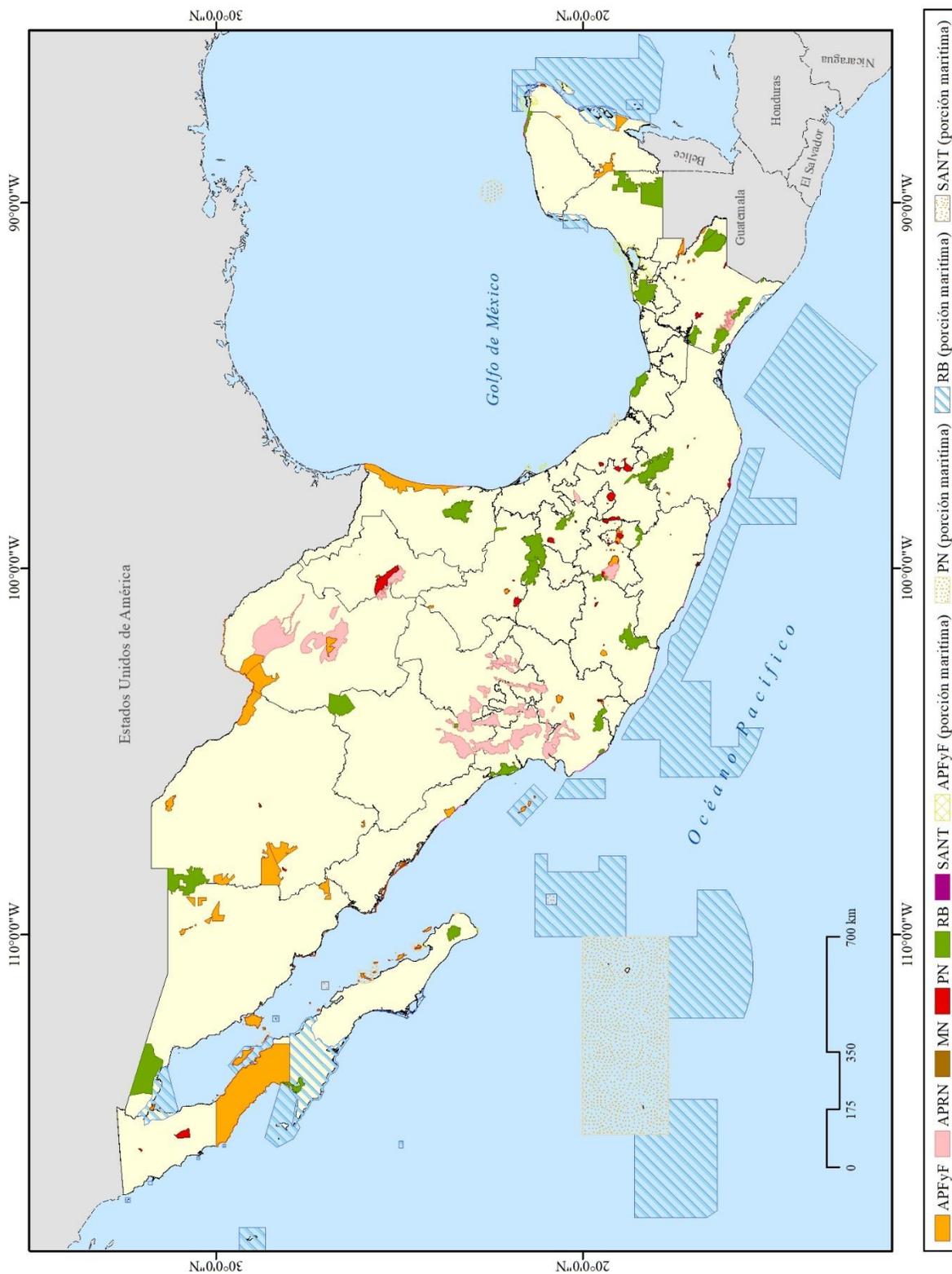
Fuente: modificado de CONANP, 2018a.

Para evaluar la efectividad de la conservación de las ANP se ha establecido las seis categorías de manejo antes mencionadas, con objetivos y zonificaciones distintas en función de cada categoría (Íñiguez-Dávalos, 2014). El esquema de zonificación “permite ordenar el territorio en función del grado de conservación y representatividad de sus ecosistemas, la vocación natural del terreno, y de su uso actual y potencial” (LGEEPA, 1988:6); se divide en dos tipos de categorización principales: 1) las zonas núcleo²⁰ (ZN) y 2) las zonas de amortiguamiento²¹ (ZA). Cabe mencionar, que dentro de la categorización zonas se hace una subzonificación para ordenar de manera más detallada el territorio, respecto a las actividades que se pueden realizar según los factores físicos, biológicos, sociales y económicos.

²⁰ Las ZN tiene como objetivo la preservación de los ecosistemas y su funcionalidad a mediano y largo plazo, en donde se podrán autorizar las actividades de preservación de los ecosistemas y sus elementos, de investigación y de colecta científica, educación ambiental, y limitarse o prohibirse aprovechamientos que alteren los ecosistemas (artículo 47 bis) (LGEEPA, 1988:35). Considera dos subzonas: 1) Protección; y 2) Uso restringido.

²¹ Las zonas de amortiguamiento tienen como función orientar a que las actividades de aprovechamiento, que ahí se lleven a cabo, se conduzcan hacia el desarrollo sustentable, creando al mismo tiempo las condiciones necesarias para lograr la conservación de los ecosistemas de ésta a largo plazo” (artículo 47 bis) (LGEEPA, 1988:35). Considera ocho subzonas: 1) Preservación; 2) Uso tradicional; 3) Aprovechamiento sustentable de los recursos naturales; 4) Aprovechamiento sustentable de los ecosistemas; 5) Aprovechamiento especial; 6) Uso público; 7) Asentamientos humanos; y 8) Recuperación.

Mapa 1. Áreas Naturales Protegidas de México



Fuente: Elaboración propia con información de CONANP, 2016b.

Las categorías de las ANP se definen de la siguiente manera:

1) Reserva de la Biosfera (RB)

Las RB se constituirán en “áreas biogeográficas relevantes a nivel nacional, representativas de uno o más ecosistemas no alterados significativamente por la acción del ser humano o que requieran ser preservados y restaurados, en los cuales habiten especies representativas de la biodiversidad nacional, incluyendo a las consideradas endémicas, amenazadas o en peligro de extinción” (artículo 48) (LGEEPA, 1988:38). Constituyen la categoría más importante por su amplitud ya que ocupan más de la mitad de la superficie total protegida (Elbers, 2011), además de la versatilidad en el diseño del manejo de éstas (Íñiguez-Dávalos, 2014), además, representan la categoría más elevada en protección (Durand y Jiménez, 2010).

En esta categoría puede haber asentamientos humanos, de ser así, deben haber estado establecidos previamente a la declaratoria del área confinándolas a ZA con aprovechamiento limitado, sustentable y de bajo impacto. En las RB se pueden establecer todas las subzonas (Íñiguez-Dávalos, 2014), dentro de la ZN y ZA. Esta estrictamente prohibido verter contaminantes, ejercer presión en los flujos hídricos, realizar actividad cinegética y extracción de flora y fauna (Melo, 2002).

2) Parques Nacionales (PN)

Los PN constituyen la categoría más numerosa (Elbers, 2011), se constituirán “tratándose de representaciones biogeográficas, a nivel nacional, de uno o más ecosistemas que se signifiquen por su belleza escénica, su valor científico, educativo, de recreo, su valor histórico, por la existencia de flora y fauna, por su aptitud para el desarrollo del turismo, o bien por otras razones análogas de interés general” (artículo 50) (LGEEPA, 1988:39). Dentro de su zonificación se puede encontrar la ZN de protección y de usos restringido y la ZA de uso tradicional, de uso público y de recuperación (Íñiguez-Dávalos, 2014). En el área solo se permite realizar actividades de conservación de los ecosistemas, investigación, repoblación de flora y fauna, recreación, turismo y educación ecológica (Melo, 2002).

3) *Monumentos Naturales (MN)*

Los MN se constituirán en “áreas que contengan uno o varios elementos naturales, consistentes en lugares u objetos naturales, por su carácter único o excepcional, interés estético, valor histórico o científico, se resuelva incorporar a un régimen de protección absoluta” (artículo 52) (LGEEPA, 1988:39). Las áreas de este tipo no cuentan con la variedad de ecosistemas y una superficie amplia para poder incluirse a otra categoría (Melo, 2002). Esta categoría es absolutamente de protección, restrictiva al aprovechamiento extractivo de cualquier tipo, por lo que su zonificación contempla las ZN de protección y uso restringido y las ZA de uso público y de recuperación (Íñiguez-Dávalos, 2014); por lo que solo se pueden realizar actividades de preservación, investigación científica, recreación y educación (LGEEPA, 1988).

4) *Áreas de Protección de Recursos Naturales (APRN)*

Las APRN son “aquellas destinadas a la preservación y protección del suelo, las cuencas hidrográficas, las aguas y, en general, los recursos naturales localizados en terrenos forestales de aptitud preferentemente forestal, siempre que dichas áreas no queden comprendidas en otra de las categorías previstas en la Ley” (artículo 53) (LGEEPA, 1988:39). Esta categoría es una de las menos precisas, porque puede considerarse dentro de la categoría reservas forestales y áreas de protección de los cuerpos de aguas nacionales (ríos, lagos, lagunas, manantiales), sobre todo cuando se destinan al abastecimiento para la población humana (Íñiguez-Dávalos, 2014). En el área puede establecerse todas las zonas y subzonas (*Ibid.*). Solo puede realizarse actividades de preservación, protección y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, además de investigación, recreación, turismo y educación ecológica (Melo, 2002).

5) *Áreas de Protección de Flora y Fauna (APFyF)*

Las APFyF se constituirán “de conformidad con las disposiciones de la LGEEPA y otras leyes aplicables, en los lugares que contienen los hábitats de cuyo equilibrio y preservación dependen la existencia, transformación y desarrollo de las especies de flora y fauna silvestres” (artículo 54) (LGEEPA, 1988:40). El enfoque principal de estas áreas es la

conservación de especies, es decir, conservar sus hábitats (Íñiguez-Dávalos, 2014), por lo que se autorizará el aprovechamiento de los recursos naturales a los asentamientos humanos establecidos previamente a la declaratoria, bajo las normas oficiales mexicanas y usos del suelo (LGEEPA, 1988).

De acuerdo con la zonificación, se permiten ZN y ZA, con todas sus subzonas (Íñiguez-Dávalos, 2014), y pueden realizarse actividades de preservación, repoblación, propagación, aclimatación, refugio, investigación y aprovechamiento sustentable de las especies; además enfocadas a la educación y difusión en la materia (Melo, 2002).

6) *Santuarios (SANT)*

Los SANT son “aquellas áreas que se establecen en zonas caracterizadas por una considerable riqueza de flora o fauna, o por la presencia de especies, subespecies o hábitat de distribución restringida. Dichas áreas abarcarán cañadas, vegas, relictos, grutas, cavernas, cenotes, caletas, u otras unidades topográficas o geográficas que requieran ser preservadas o protegidas” (artículo 55) (LGEEPA, 1988:40). Estas áreas destacan por contener un alta de riqueza de especies, que bien pueden ser de distribución restringida en sitios delimitados (Íñiguez-Dávalos, 2014), por lo que solo se permiten actividades de investigación, recreación y educación ambiental; y actividades de aprovechamiento no extractivo quedan restringidas (Melo, 2002). La zonificación comprende las ZN de protección y de uso restringido, y las ZA de uso público y de recuperación (Íñiguez-Dávalos, 2014).

7) *Áreas Protegidas no Federales*

Las áreas destinadas voluntariamente²² a la conservación son “aquellas que pueden presentar cualquiera de las características y elementos biológicos, semejantes a las características las categorías federales o que dotan de servicios ambientales, propuestas por interés público” (artículo 55 bis) (LGEEPA, 1988).

²² Predios particulares, privados, ejidales o comunales (Íñiguez-Dávalos, 2014).

2.2. Áreas Naturales Protegidas con mayor riqueza de odonatos

A continuación, se describen las ANP usadas en la investigación dado que poseen la mayor riqueza de odonatos en el país: la Reserva de la Biosfera los Tuxtlas, Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa y Reserva de la Biosfera Calakmul.

2.2.1. Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas

Los Tuxtlas está dentro de la categoría de RB decretada el 23 de noviembre de 1998, ubicada en la parte centro sur del estado de Veracruz²³, frente al Golfo de México. El área abarca ocho municipios del estado: Ángel R. Cabada, Catemaco, Mecayapan, Pajapan, San Andrés Tuxtla, Santiago Tuxtla, Sotepan, Tatahuicapan de Juárez; con una superficie total de 155 122.46 ha que corresponde en su totalidad a superficie terrestre (CONANP, 2018b) (Mapa 2), con un gradiente altitudinal hasta de 720 msnm (CONANP, 2009).

La superficie total del área protegida incluye en su zonificación: ZN y ZA. La ZN se ubica en función de los principales volcanes de la región²⁴: San Martín Tuxtla (1680 msnm), Santa Marta (1720 msnm) y San Martín Pajapan (1250 msnm) (Laborde, 2004); estos sitios contienen la vegetación mayor conservada y una baja densidad de población. Por otro lado, la ZA rodea la ZN y contempla la Laguna de Sontecomapan, los lagos volcánicos al norte del volcán San Martín Tuxtla y el Lago de Catemaco (CONANP, 2009); se divide en subzonas como uso tradicional, de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, de aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y aprovechamiento especial.

La Reserva se encuentra dentro de dos cuencas: la cuenca del Papaloapan (57 355 km² y 1 460 mm de precipitación)²⁵ y la Cuenca del Coatzacoalcos (30 217 km² y 1 946 mm) (CONAGUA, 2014); siendo un de las zonas más lluviosas del país (Dirzo y Mendoza, 2004). Los suelos del área tienen origen del material de la actividad volcánica sometido al ambiente

²³ Ubicada dentro en la Región CONANP de la Planicie Costera y Golfo de México.

²⁴ Se encuentran en el sistema montañoso del Golfo de México de origen volcánico (Dirzo y Mendoza, 2004), en la parte oriental del Eje Neovolcánico Transversal donde converge con la Sierra Madre Oriental (Barradas *et al.*, 2004).

²⁵ Siendo una de las cuencas más importantes del país (CONANP, 2009).

tropical, de los que se reconocen 9 principales grupos favorables para la actividad agrícola, sin embargo, tienen problemas de erosión y contaminación (CONANP, 2009).

Por su posición geográfica, Los Tuxtlas²⁶ según la clasificación de Köppen modificado por García (1981), posee climas cálidos A (Cálido húmedos)²⁷, con tres tipos de climas: Af (caliente húmedo con lluvias todo el año), Am (caliente húmedo con lluvias en verano) y Aw (caliente subhúmedo con lluvias en verano) (*Ibid.*). La amplia gama de condiciones climáticas que favorece la diversidad de hábitats y especies (*Ibidem*) de origen tropical, boreal y elementos endémicos (Dirzo y Mendoza, 2004); protege ocho tipos de ecosistemas entre los que se encuentran el bosque de coníferas, bosque de encino, bosque mesófilo de montaña, selva perennifolia, vegetación hidrófila, vegetación inducida y manglar (CONANP, 2018c).

La flora está compuesta por cerca de 3 mil especies representativas y endémicas (SEMARNAT, 2016b), además, la Reserva es una de las cinco áreas con mayor endemismo de árboles del país (CONANP, 2009). Entre las especies que destacan se encuentran “la cícada (*Ceratozamia miqueliana*), cedro (*Cedrela odorata*), palma cola de pescado (*Chamaedorea ernesti-augusti*), mangle rojo (*Rhizophora mangle*), ocote (*Pinus oocarpa*)” (SEMARNAT, 2016b:160).

Por otro lado, la fauna consta de 565 especies de aves (40% son migratorias de Norteamérica), 139 especies de mamíferos, 166 especies de anfibios y reptiles, 109 especies de peces y 1 117 especies de insectos (*Ibid.*). Entre las especies que destacan son “la paloma tuxtleca (*Zentrygon carrikeri*), tepezcuintle (*Cuniculus paca*), tigrillo (*Leopardus wiedii*), mono aullador (*Alouatta palliata*), tucaneta verde (*Aulacorhynchus prasinus*)” (CONANP, 2018c:160). Cabe mencionar que la Reserva contempla 133 especies de odonatos, que constituyen el 40% de las especies existentes en el país (Dirzo y Mendoza, 2004), lo cual es de gran importancia en el estudio.

²⁶ Es una de las zonas más estudiadas del país con una Estación de Biología Los Tuxtlas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (DOF, 1998), cuyos objetivos son la investigación científica y conservación de la diversidad (Durand-Smith y Ruiz, 2009).

²⁷ Con temperaturas alta de los 27° a los 36° C y bajas de 8° a 18°C (CONANP, 2009).

Los asentamientos de la Reserva están conformados por población rural y urbana que se dedican en mayor medida a actividades agrícolas de subsistencia y ganaderas extensivas (históricamente una actividad importante) (Peresbarbosa *et al.*, 2007) y, en menor medida, a la actividad forestal (Durand-Smith y Ruiz, 2009). También hay actividad pesquera y acuícola²⁸, el desarrollo de turismo ya que representa un gran potencial económico para los pobladores por la belleza paisajista, la diversidad y actividades recreativas, tanto en poblados dentro de la Reserva²⁹ así como playas de los límites³⁰, además en zonas arqueológicas olmecas como Tres Zapotes en Santiago Tuxtla (CONANP, 2009).

Los servicios ecosistémicos que proporciona es la captura de carbono, agua, conservación de biodiversidad y el valor paisajístico gracias a la vegetación de la zona, por lo que poblados aledaños como Coatzacoalcos, Minatitlán, Cosoleacaque, Acayucan y San Andrés Tuxtla, se han beneficiado principalmente por el abasto de agua (CONANP, 2018c).

No obstante, las problemáticas del área son por la intensa actividad humana que provocan la reducción y fragmentación de la cobertura vegetal y el cambio de uso de suelo, estimando que ha desaparecido 84% del área original³¹ (Dirzo y García, 1992), debido al aprovechamiento de recursos naturales, el desarrollo de actividades agrícolas, ganaderas (entre 1967 a 1990) y explotación forestal; causando el deterioro en el hábitat y pérdida de diversidad (Dirzo y Mendoza, 2004), transformando los hábitats.

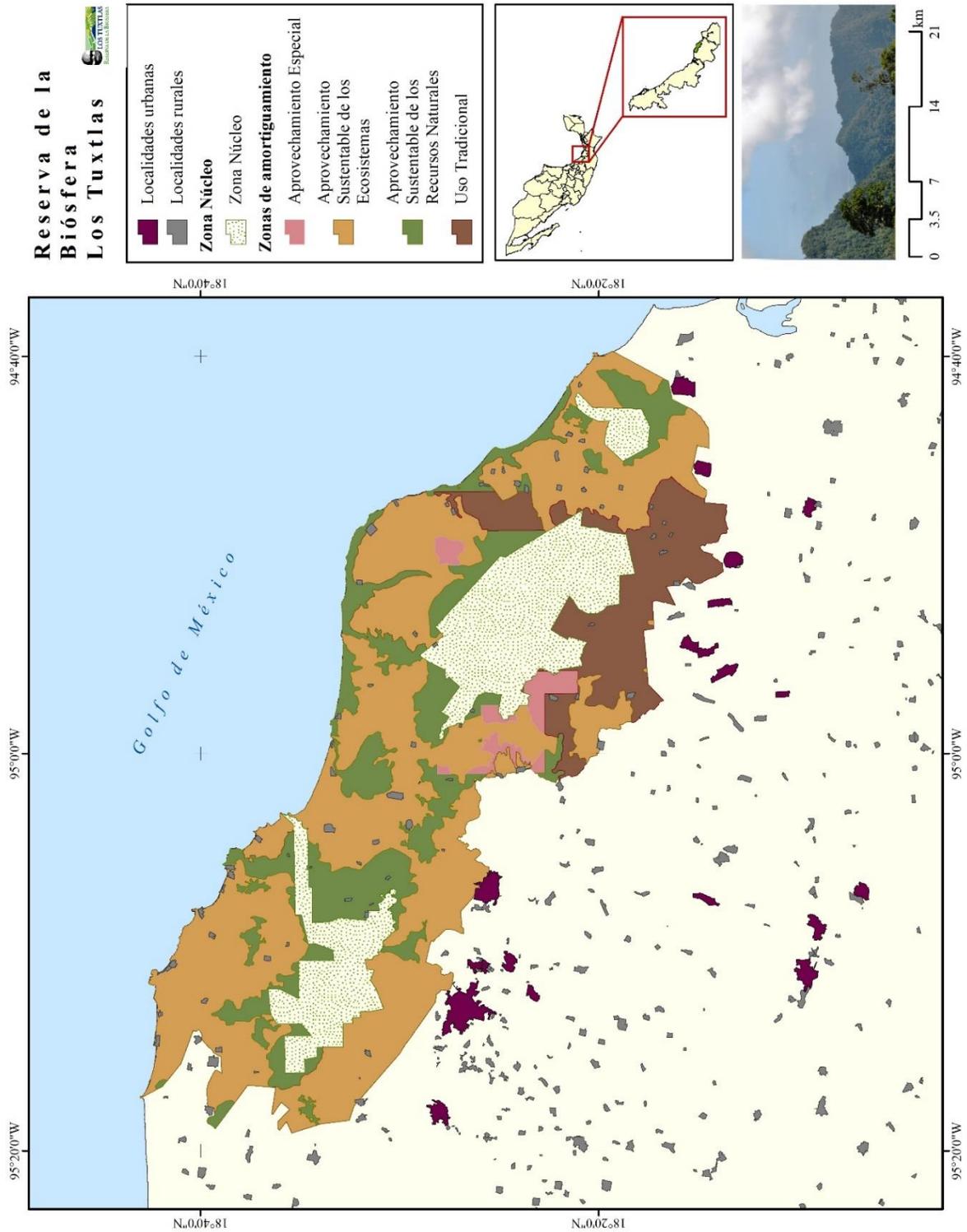
²⁸ Practicadas en la Laguna de Sontecomapan, el Lago de Catemaco, en el Golfo de México (respetando la Zona Federal Marítimo Terrestre), en represas, estanques, lagos o embalses y arroyos (CONANP, 2009).

²⁹ En poblados como San Andrés Tuxtla, Santiago Tuxtla y Catemaco (CONANP, 2009).

³⁰ En la playa Escondida, Monte Pío, Arroyo de Lisa y Toro Prieto, pertenecientes al municipio de San Andrés Tuxtla (CONANP, 2009).

³¹ Veracruz es uno de los estados con mayor pérdida de cubierta vegetal (Challenger, 2005).

Mapa 2. Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas



Fuente: Elaboración propia con información de CONANP, 2016b y CONANP, 2018b.

2.2.2. Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla

La RB Sierra de Huautla está dentro de la categoría de RB decretada el 8 de septiembre de 1999, ubicada en la zona centro del país en los estados de Morelos, Puebla y Guerrero³² en los municipios de Amacuzac, Puente de Ixtla, Jojutla, Tlaquiltenango, Teotlalco, Jolalpan, Huitzuc de los Figueroa, Buenavista de Cuellar; con una superficie total de 59,030.94 ha que corresponde en su totalidad a superficie terrestre (CONANP, 2018b) (Mapa 3), con un gradiente altitudinal que va de 700 a 2200 msnm³³ (Maldonado y Martínez-García, 2012).

La superficie total del área protegida incluye en su zonificación: zona de preservación, zona de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, zona de aprovechamiento sustentable de los ecosistemas, zona de aprovechamiento especial y zona de recuperación; contempla áreas como Piedra Desbarrancada, El Limón, Cerro Prieto, Cañada de Ajuchitlán y Río Amacuzac.

La Reserva se encuentra dentro de la cuenca del Río Balsas (118 268 km² y 952 mm de precipitación) (CONAGUA, 2014), con muchos ríos de temporal, solo los ríos Amacuzac y el Cuautla son permanentes. Los suelos del área se derivan de rocas ígneas y sedimentarias, se encuentran tres tipos de suelos dominantes; los cuales no favorecen la actividad agrícola. Por su posición geográfica, según la clasificación de Köppen modificado por García (1981) el área posee un tipo de clima Aw (caliente subhúmedo con lluvias en verano)³⁴ (CONANP, 2005).

El área³⁵ posee ecosistemas terrestres y acuáticos de temporal, por lo que protege tres tipos de ecosistemas bosque de encino, selva caducifolia³⁶ y vegetación inducida (CONANP, 2018c), creando condiciones idóneas para un gran número de géneros y especies endémicas. La flora en su totalidad tiene afinidad neotropical, está compuesta por 939 especies nativas, de gran importancia por su alto contenido de resinas y aceites (CONANP, 2005). Entre las

³² Ubicada en la Región CONANP del Centro y Eje Neovolcánico.

³³ Se encuentra dentro Eje Neovolcánico y parte de la Sierra Madre del Sur (CONANP, 2005).

³⁴ Comprende temperaturas mensuales de 7° a 14° C y altas de 26° y 27° C (CONANP, 2005).

³⁵ Es una zona estudiada por el Centro de Educación Ambiental e Investigación Sierra de Huautla de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) (CONANP, 2005).

³⁶ La Reserva asegura una parte importante de este tipo de vegetación del centro del país, siendo la predominante del área.

especies que destacan se encuentra “el copal (*Bursera copallifera*), cuachalalate (*Amphipterygium adstringens*), tecolhuixtle (*Mimosa benthamii*), tlahuitol (*Lysiloma divaricatum*), amate (*Ficus petiolaris*)” (CONANP, 2018c:168).

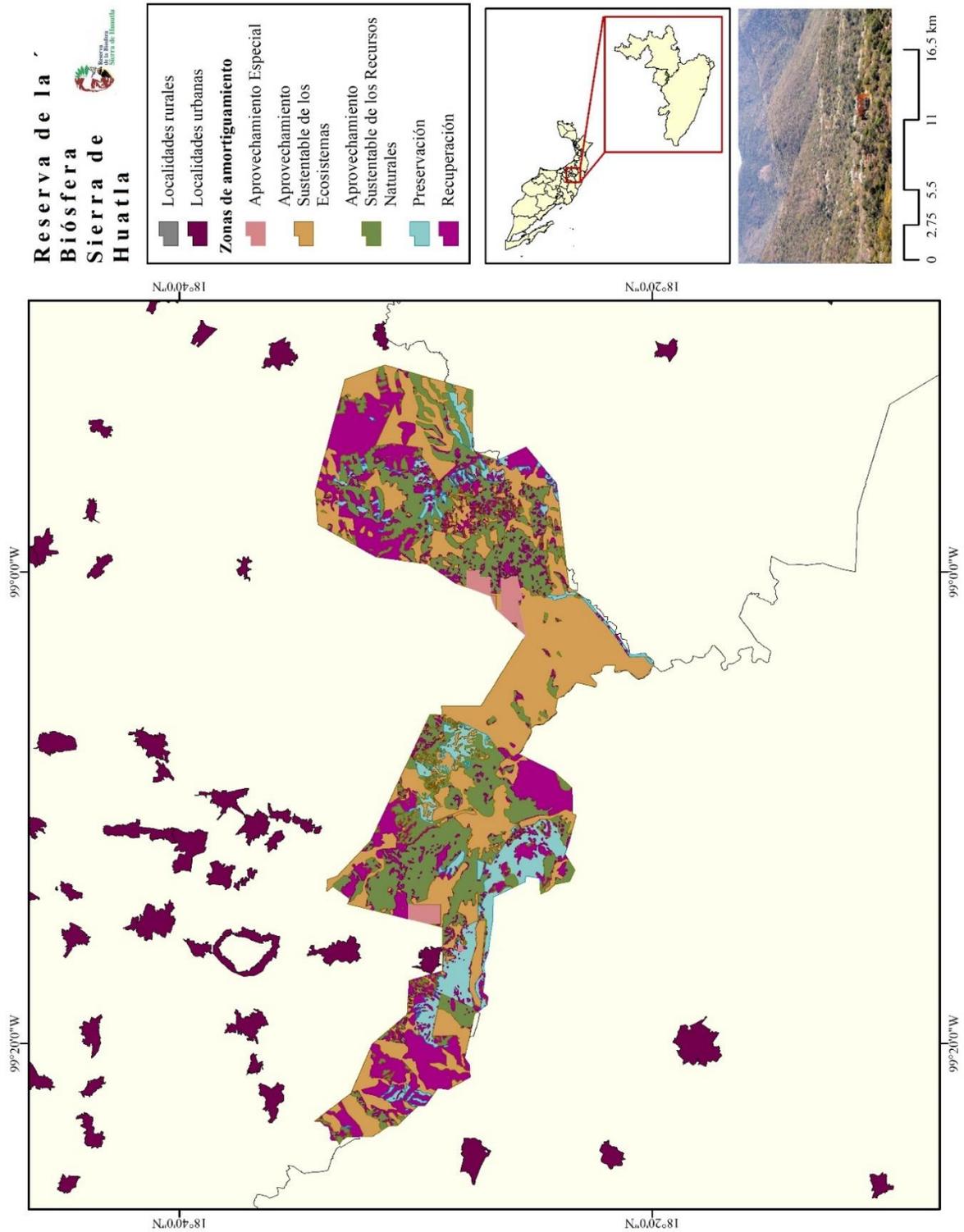
Por otro lado, la fauna consta de 220 aves, 66 mamíferos, 63 anfibios y reptiles, 8 especies de peces y se estiman 2200 insectos (CONANP, 2005). Entre las especies destacan la “iguana negra (*Ctenosaura pectinata*), chachalaca pálida (*Ortalis poliocephala*), trogón elegante (*Trogon elegans*), mariposa de barón (*Baronia brevicornis*), jaguar (*Panthera onca*)” (CONANP, 2018c:168). Cabe mencionar que en la Reserva contempla 50 especies de odonatos aproximadamente (CONANP, 2005).

La población de la Reserva se dedica principalmente a la agricultura extensiva, ganadería extensiva, silvicultura y extracción de recursos no maderables; anteriormente, su actividad se basaba en la minería³⁷, no obstante, tuvo que cerrar. En esta zona no destaca la actividad turística, por lo que representa una ventaja para problemas de urbanización, servicios y desechos (*Ibid.*). Los servicios ecosistémicos que proporciona es la provisión de recursos naturales, regulación de clima y ciclo del agua, la conservación favorece que el suelo sea apto para el desarrollo de la agricultura de autoconsumo ya que se evita la erosión (CONANP, 2018c).

Las problemáticas de la región son principalmente por la explotación forestal debido al desarrollo de la agricultura (roza-tumba), ganadería y anteriormente por la minería; lo que provocó un cambio en el uso de suelo y la erosión de mismo, además de la contaminación de mantos acuíferos. También hay aprovechamiento de flora para consumo, construcción y uso medicinal, de igual forma la fauna (cacería) es usada para consumo y comercialización; esto provoca una reducción en las especies de la zona. Otra problemática es el manejo de residuos del Rio Amacuzac, ya que está contaminado porque se vierten desechos líquidos y sólidos desde antes de entrar a la Reserva por actividad antrópica y zonas industriales.

³⁷ Por presencia de plata, plomo, cobre y oro.

Mapa 3. Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla



Fuente: Elaboración propia con información de CONANP, 2016b y CONANP, 2018b.

2.2.3. Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa

La Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa está dentro de la categoría de APRN decretada el 20 de octubre de 1938, ubicada en los estados de Hidalgo y Puebla³⁸ en los municipios de Acaxochitlán, Cuauhtepic de Hinojosa, Ahuazotepec, Huauchinango, Juan Galindo, Naupan, Tlaola, Xicotepec, Zacatlán, Zihuateutla; con una superficie total de 42,129.35 ha que corresponde en su totalidad a superficie terrestre (CONANP, 2018b) (Mapa 4), con una altitud que va de 400 a 2300 msnm³⁹ (CONANP, 2018c).

La zona se encuentra dentro de la cuenca Norte de Veracruz (Tuxpan-Nautla) (26 592 km² y 1427 mm de precipitación) (CONAGUA, 2014), con corrientes perennes y caudalosos como los ríos Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla, Misantla y Colipa (CONANP, 2013). Los suelos del área se derivan de rocas de origen volcánico (ígneas) y sedimentarias, por lo que se encuentran suelos de tipo regosol, acrisol, andosol, luvisol y redzina (*Ibid.*).

Por su posición geográfica según la clasificación de Köppen modificado por García (1981) la zona posee climas variados como cálidos, templados y fríos. Se encuentra el clima Aw (caliente subhúmedo con lluvias en verano), (A) C(fm)⁴⁰ (semicálido húmedo), los subtipos climáticos (templado subhúmedo) como C(f)⁴¹, C(m)⁴², C(w₁)⁴³ (*Ibidem*).

La zona⁴⁴ alberga ecosistemas importantes para la captación de agua como son el bosque tropical perennifolio, bosque de galería⁴⁵, bosque mesófilo de montaña, bosque de pino-encino, bosque de pino, pastizal inducido (CONANP, 2018c). Algunas de las especies que

³⁸ Ubicada en la Región CONANP de la Planicie Costera y Golfo de México.

³⁹ Se encuentra dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, el Eje Neovolcánico y la Llanura Costera del Golfo Norte (CONANP, 2013).

⁴⁰ Las letras *fm* indican con más de 40 mm de lluvia en el mes más seco (*f*) y un régimen de lluvia de verano por influencia de monzones (*m*), con porcentaje de lluvia invernal entre 0 y 18% de la anual (García de Miranda, 1981:42).

⁴¹ Templado con más de 40 mm de lluvia en el mes más seco (García de Miranda, 1981).

⁴² Templado con precipitación del mes más seco menor a 40 mm (García de Miranda, 1981).

⁴³ Templado con precipitación del mes más seco menor a 40 mm (García de Miranda, 1981).

⁴⁴ Es considera una de las zonas importantes para la producción de agua, captación de CO₂, liberación de oxígeno, etcétera. (CONANP, 2013).

⁴⁵ Se le conoce así a la vegetación arbórea que se desarrollan a lo largo de corrientes de agua más o menos permanentes (CONANP, 2013).

destacan son “el helecho arborescente (*Alsophila firma*), cedro rojo (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*)” (*Ibid.*:524).

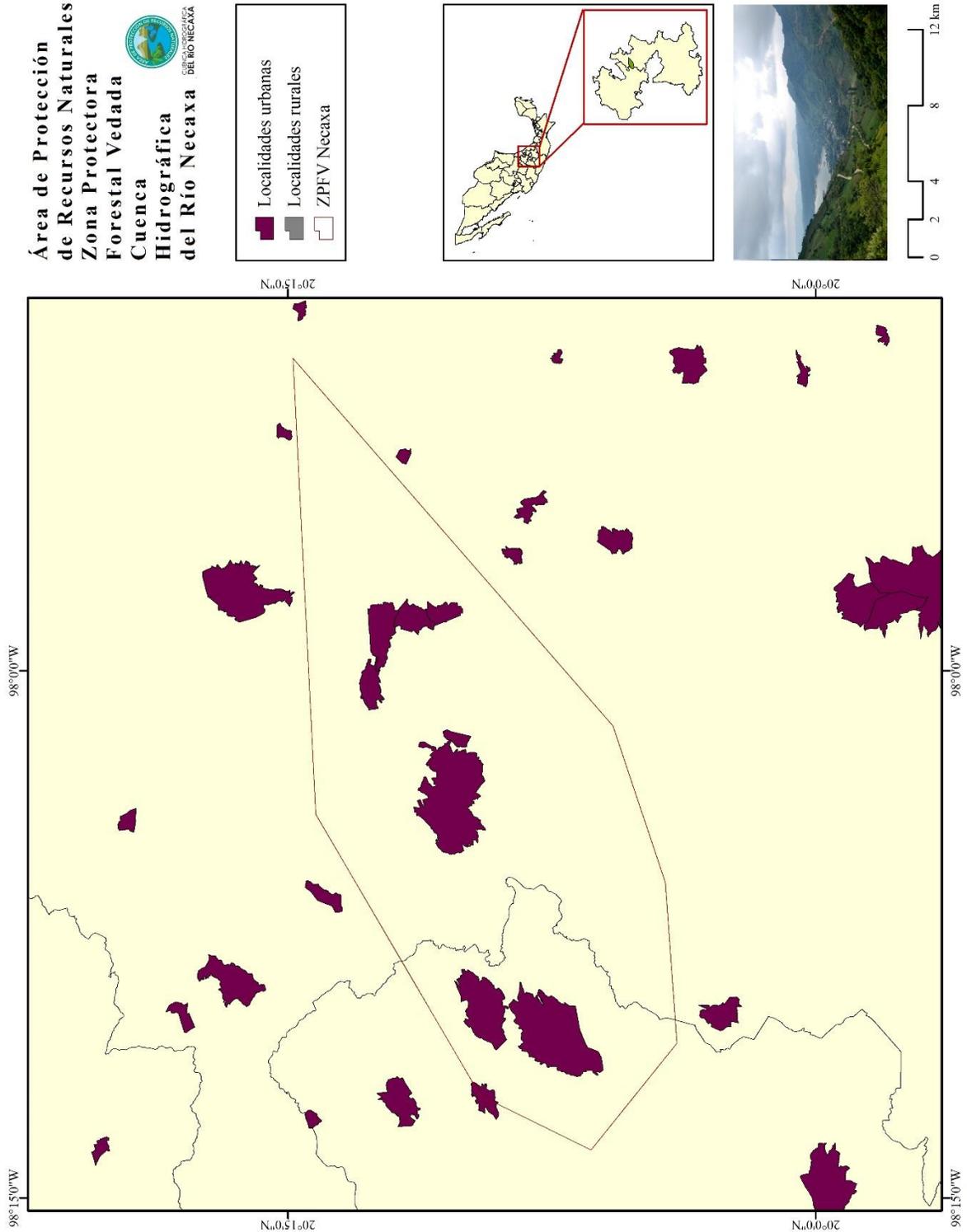
Por otro lado, en la fauna destacan especies como la rana jaspeada (*Hyperolius marmoratus*), tlaconete de manchas negras (*Pseudoeurycea nigromaculata*), lagartija cornuda de montaña (*Phrynosoma orbiculare*), culebra parchada (*Salvadora bairdi*), clarín jilguero (*Myadestes occidentalis*), zorzal corona negra (*Catharus mexicanus*), jaguar (*Panthera onca*) y ocelote (*Leopardus pardalis*) (SEMARNAT, 2016a).

La población se dedica a la actividad agropecuaria, forestal y ganadería; no obstante, muestra problemas el sector agrícola por contaminación de agua por cultivo de café, desecho de sólidos y uso inadecuado del suelo. También actividad del sector terciario como el desarrollo de actividad ecoturística por los paisajes como como las cascadas de Salto Grande y Salto Chico (*Ibid.*).

Los servicios ecosistémicos que brinda son gracias a los bosques de la zona, ya que permiten la presencia de manantiales y arroyos que son aprovechadas en las obras hidráulicas para la producción de energía y luz eléctrica de grandes poblados (alumbrado de la Ciudad de México) y diversas industrias (*Ibidem*). También provee de la producción de oxígeno, captura de carbono y la zona brinda la oportunidad para el desarrollo de investigaciones científicas y ambientales, así como facilidades para el desarrollo de actividades ecoturísticas (CONANP, 2013) como las cascadas de Salto Grande y Salto Chico (SEMARNAT, 2016a).

Las problemáticas de la zona son principalmente la deforestación y el cambio de uso de suelo, que han impactado la captación de agua, la erosión del suelo, afectaciones en el clima, inundaciones e incendios forestales (CONANP, 2013).

Mapa 4. Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa



Fuente: Elaboración propia con información de CONANP, 2016b y CONANP, 2018b.

2.2.4. Reserva de la Biosfera Calakmul

Calakmul está dentro de la categoría de RB decretada el 23 de mayo de 1989, ubicada en el estado de Campeche⁴⁶ en los municipios de Calakmul y Hopelchen; con una superficie total de 723 185.12 ha que corresponde en su totalidad a superficie terrestre (CONANP, 2018b) (Mapa 5) con una altitud que va de 400 a 2 300 msnm⁴⁷ (CONANP, 2000).

La superficie total del área protegida incluye en su zonificación: ZN y ZA. La ZN contempla dos zonas: la ZN I (norte) y la ZN II (sur); por otro lado, la ZA tiene zonas como: de conservación, asentamientos humanos en ZN, aprovechamiento controlado, aprovechamiento intensivo, preservación y conservación de los recursos naturales, usos múltiple e histórico-culturales.

La Reserva se encuentra dentro de la cuenca Grijalva Usumacinta (102 465 km² y 1 709 mm de precipitación), Yucatán oeste (25 443 km² y 1 229 mm de precipitación) y Yucatán este (38 308 km² y 1 243 mm de precipitación) (CONAGUA, 2014). Los suelos del área se derivan de rocas de origen calcáreo, delgados y con materia orgánica; por sus características favorecen la infiltración de agua por precipitación, formando canales subterráneos y aguadas⁴⁸, limitando el escurrimiento superficial (García-Gil y Pat-Fernández, 2000). Dado lo anterior se encuentran suelos de tipo litosol, redzina, gleysol y vertisol (CONANP, 2000).

Por su posición geográfica según la clasificación de Köppen modificado por García (1981) la zona posee climas del tipo Aw (caliente subhúmedo con lluvias en verano) en los tres subtipos según el grado de humedad: Aw₀ el menos húmedo, Aw₁ el intermedio y Aw₂ el más húmedo; Af (caliente húmedo con lluvias todo el año) y Bsh (seco o árido)⁴⁹.

La zona alberga ecosistemas⁵⁰ importantes, como selva espinosa, selva perennifolia, selva subcaducifolia, vegetación hidrófila (CONANP, 2018c). La flora tiene afinidad neotropical

⁴⁶ Ubicada en la Región CONANP de Península de Yucatán y Caribe Mexicano.

⁴⁷ Se encuentra dentro de la Planicie Yucateca y del Petén (CONANP, 2000).

⁴⁸ Son estanques permanentes en una depresión con un suelo impermeable (Hubp, 1989). En la temporada de secas las especies como mamíferos y aves las usan como sitios de alimentación, reproducción, descanso, etcétera (CONANP, 2018c).

⁴⁹ La letra *h* indica que la temperatura media anual está entre los 18 y 22°C (García de Miranda, 1981).

⁵⁰ Es una zona de gran importancia por su valor biológico por ser representativa de las zonas tropicales de México y Centroamérica (Gallegos *et al.*, 2014). Además, permite la continuidad biológica de Guatemala y Belice con el país (García-Gil y Pat-Fernández, 2000).

y se estima 380 especie endémicas (CONANP, 2000), entre las especies que destacan son el “chicozapote (*Manilkara zapota*), ramón (*Brosimum alicastrum*), pucté (*Bursera simaruba*), palo tinto (*Haematoxylum campechianum*), chechén (*Metopium brownei*)” (CONANP, 2018c:112).

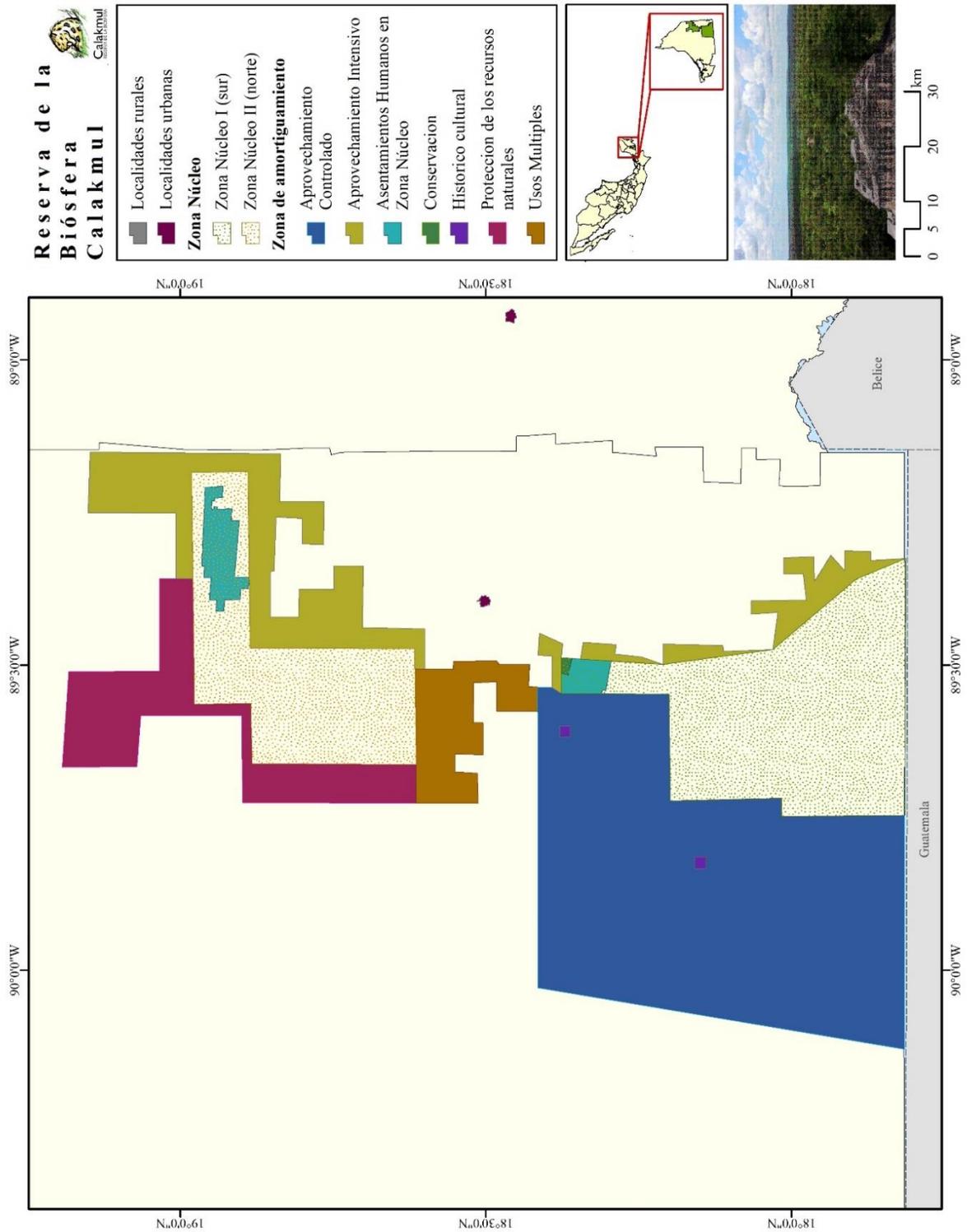
Por otro lado, la fauna está compuesta por 286 aves, 94 mamíferos, 16 especies de anfibios, 50 especies de reptiles y 18 peces (CONANP, 2000), destacando especies como el “jaguar (*Panthera onca*), tapir (*Tapirella bairdii*), pecarí de labios blancos (*Tayassu pecari*), zopilote rey (*Sarcoramphus papa*), pavo ocelado (*Meleagris ocellata*)” (CONANP, 2018c:112).

La población de la zona se dedica principalmente a las actividades primarias como agricultura de autoconsumo principalmente, ganadería al norte la Reserva por la disponibilidad de agua, apicultura al norte y sur, aprovechamiento forestal de cedro, caoba, guayacán, chicozapote y otras especies de menor valor comercial como el jabín, chaká, chakté, chechén, tzalam y granadillo; seguido de las terciarias por el desarrollo de actividad turística en la Zona Arqueológica de Calakmul; y finalmente a las secundarias como la producción de chicle (CONANP, 2000).

Los servicios ecosistémicos que cumple es la protección de una de las zonas más importantes de selva tropical y zonas inundables por lo que tiene un gran valor escénico, regulación del clima con la captación de carbono, regulación hidrológica, fertilidad de suelos, aprovechamiento de los recursos naturales como la producción de madera y combustible (CONANP, 2018c).

Las problemáticas principalmente es la presión antrópica que provoca el cambio de uso de suelo por extracción de recursos para la elaboración de chicle (en la ZN sur) y de maderas preciosas (García-Gil y Pat-Fernández, 2000), la agricultura (roza-tumba) para el desarrollo de vegetación secundaria para la obtención de obtiene leña, carbón, materiales para construcción, miel, curtientes, medicina, entre otros usos (Báez-Vargas *et al.*, 2017); y ganadería causando la pérdida de selva (García-Gil y Pat-Fernández, 2000).

Mapa 5. Reserva de la Biosfera Calakmul



Fuente: Elaboración propia con información de CONANP, 2016b y SEMARNAT, 2018.

Capítulo 3. Cambio en la cobertura de superficie boscosa en Áreas Naturales Protegidas con más riqueza de odonatos

3.1. Riqueza de odonatos

3.1.1. Origen de registros de odonatos

Con el propósito de conocer la distribución de odonatos en México se usaron los registros de colecta contenidos en una base de datos, construida a partir de las siguientes fuentes: sitios web como la Facilidad Global de Información sobre Biodiversidad o GBIF por sus siglas en inglés (*Global Biodiversity Information Facility*, <https://www.gbif.org/>) y por colecciones biológicas de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (Proyectos A024405F, FE009, M003909F, S122, S122010F, S172210F, V047).

La base de datos fue manipulada en el sistema Microsoft Access debido a la gran cantidad de registros y se hizo una revisión exhaustiva de cada uno de ellos. El control de calidad en los datos estuvo enfocado a la revisión geográfica, taxonómica y biológica (Cuadro 7 y Mapa 6). En el control geográfico, para cada registro se revisó que hubiera una concordancia entre la localidad, entidad y municipio respecto a la referencia geográfica. Lo anterior se hizo mediante de un Sistema de Información Geográfica (SIG)⁵¹, el uso del Marco Geoestadístico del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), y de Google Earth, para observar la distribución espacial de cada registro.

En cuanto al control biológico, se revisó la correcta escritura del nombre científico, datos de colecta, año de colecta y se eliminó los registros duplicados para evitar redundancia y sobrestimar las colectas del grupo de interés. Finalmente, en el caso de la revisión taxonómica se revisó que todos los nombres de las especies fueran nombres válidos y que no hubiera sinonimias es la lista de especies con la que se trabajó.

⁵¹ Es una herramienta de análisis de información espacial compuesta por hardware, software y procedimientos diseñados (Carmona y Monsalve, 2004), para resolver, encontrar patrones y entender que eventos dan origen a los fenómenos ocurridos en el territorio (Aguirre, 2009).

Cuadro 7. Revisión de base de datos de odonatos en México

Observaciones	Registros
Inicial	16 982
Control geográfico	16 276
Control biológico	3 955
Intersección con ANP de México	1 076
Intersección con ANP del estudio	963
Especies iniciales	287
Especies en ANP de México	197
Especies en ANP del estudio	185

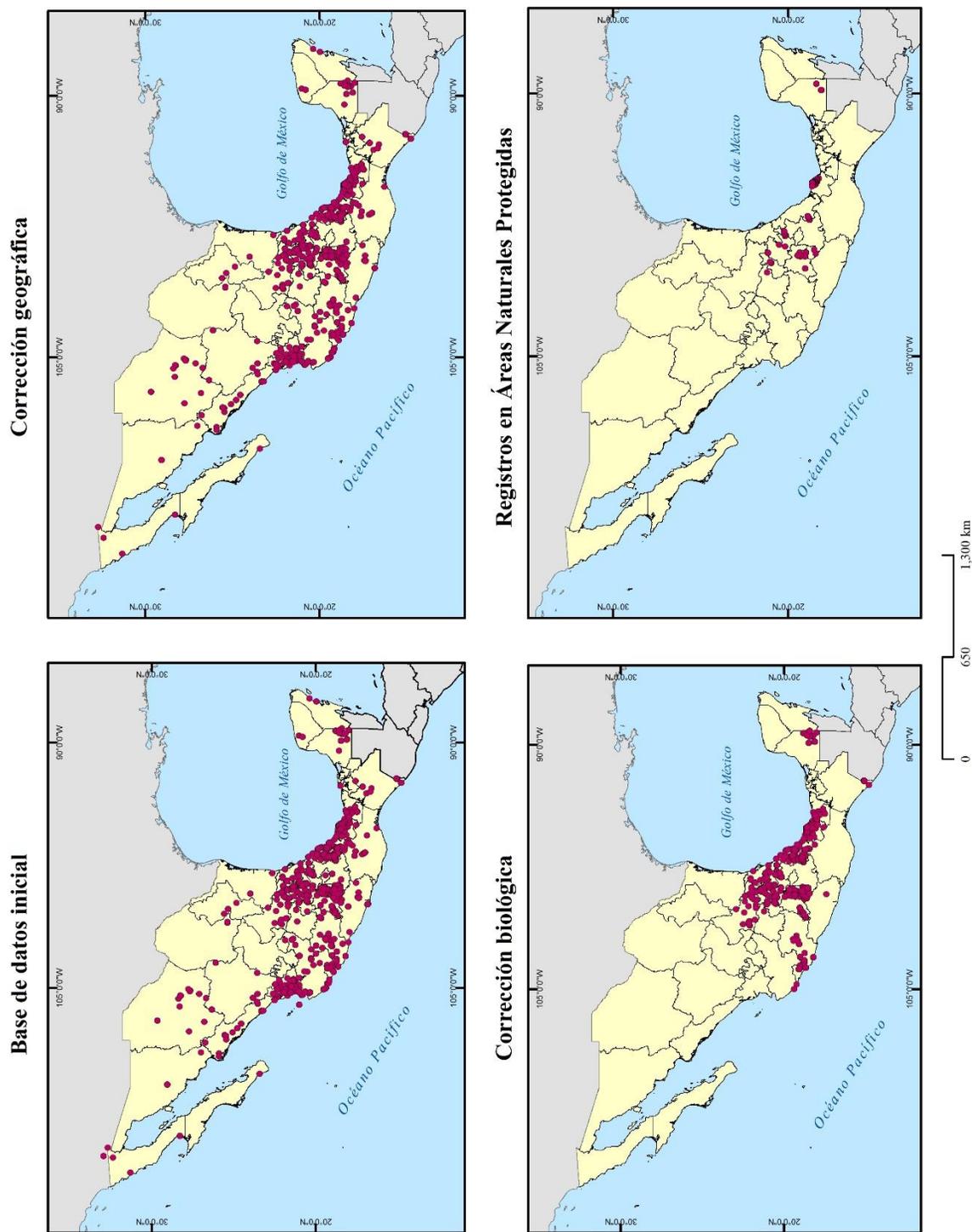
Fuente: Base de datos de odonatos.

3.1.1.1. Análisis a dos escalas espaciales

Una primera exploración para cuantificar la riqueza de especies de odonatos dentro del país y conocer las zonas con más diversidad es emplear mallas de diferente magnitud, para observar si hay patrones de diversidad. Dado lo anterior, se usaron dos tamaños de malla: 0.5 grados de latitud por 0.5 grados de longitud (2,500 km²; Mapa 7) y 1 grado de latitud por 1 grado de longitud (5,000 km²; Mapa 8) para todo el país, esto debido a que la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) propone el uso de celdas para conocer la distribución de las especies, es decir, su presencia y el área de ocupación según el área de estudio (UICN, 2001).

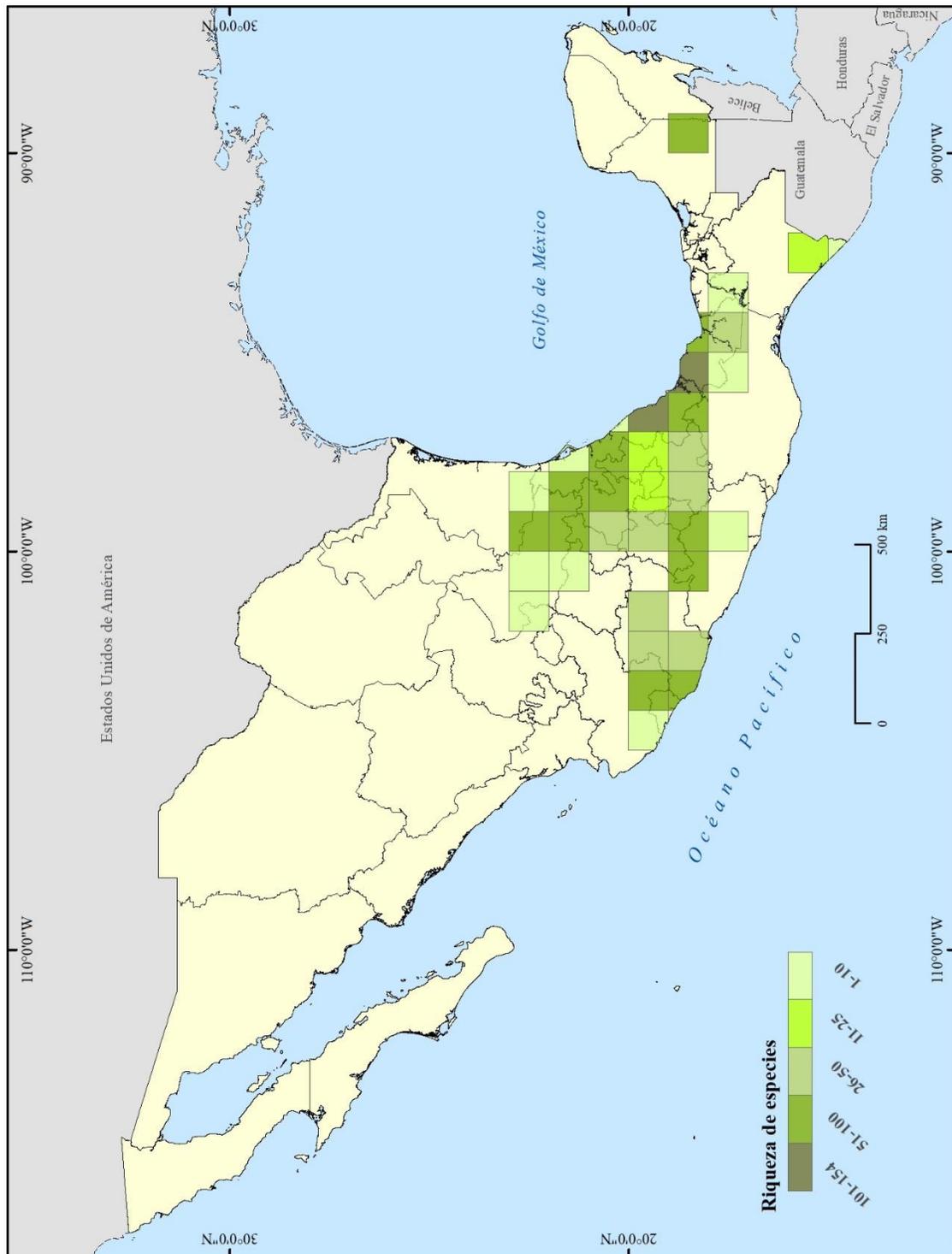
En las gradículas se proyectó las coordenadas geográficas de los registros y se cuantificó el número de especies por cada celda mediante un SIG. Las dos escalas de análisis permitieron observar que los patrones de diversidad se encuentran asociados a la zona neotropical del país, según los requerimientos de las especies de odonatos.

Mapa 6. Revisión de base de datos de odonatos en México



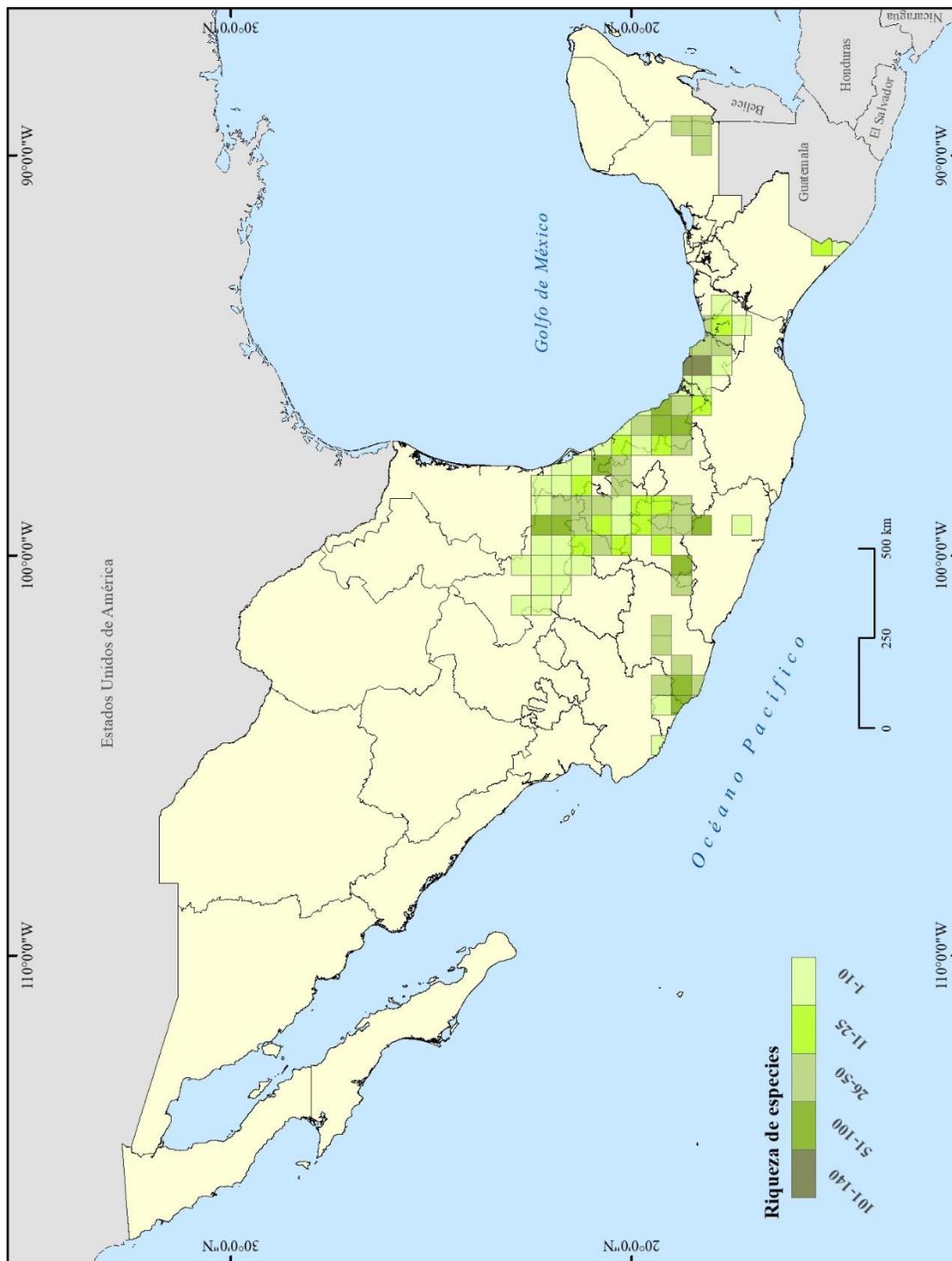
Fuente: Elaboración propia con información de base de datos de odonatos.

Mapa 7. Riqueza de odonatos en cuadrícula de 1° de latitud por longitud (5000 km²)



Fuente: Elaboración propia con información de base de datos de odonatos.

Mapa 8. Riqueza de odonatos en cuadrícula de 0.5° de latitud por longitud (2500 km²)



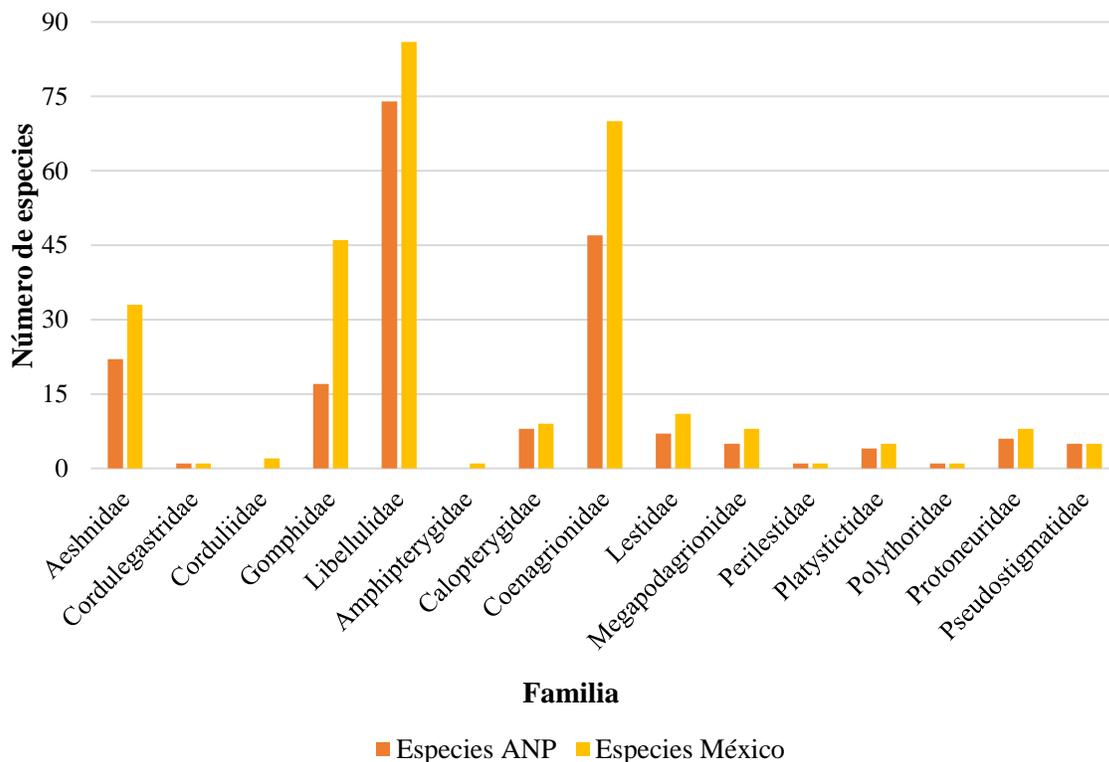
Fuente: Elaboración propia con información de base de datos de odonatos.

3.1.2. Diversidad alfa de odonatos en Áreas Naturales Protegidas

Con el propósito de conocer cuáles son las ANP terrestres de México con mayor diversidad del orden *Odonata*, se intersectó las coordenadas geográficas de los registros con archivo shapefile de las ANP de la CONANP mediante un SIG (Cuadro 8 y Mapa 9); resultando 16 ANP con presencia de odonatos y 1076 registros. Cabe mencionar que para este análisis se usaron 197 especies (69%) presentes solo en las ANP, de las 287 especies de odonatos existentes en la base de datos a nivel nacional (Gráfica 1 y Cuadro 9).

Para los demás análisis del estudio solo se seleccionaron las primeras cuatro ANP (962 registros), debido a que tiene una mayor riqueza de especies y número de registro: RB Los Tuxtlas, RB Sierra de Huautla, APRN Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, y RB Calakmul. Para más información de las especies se puede consultar Anexos.

Gráfica 1. Comparación de especies de México y Áreas Naturales Protegidas



Fuente: Base de datos de odonatos.

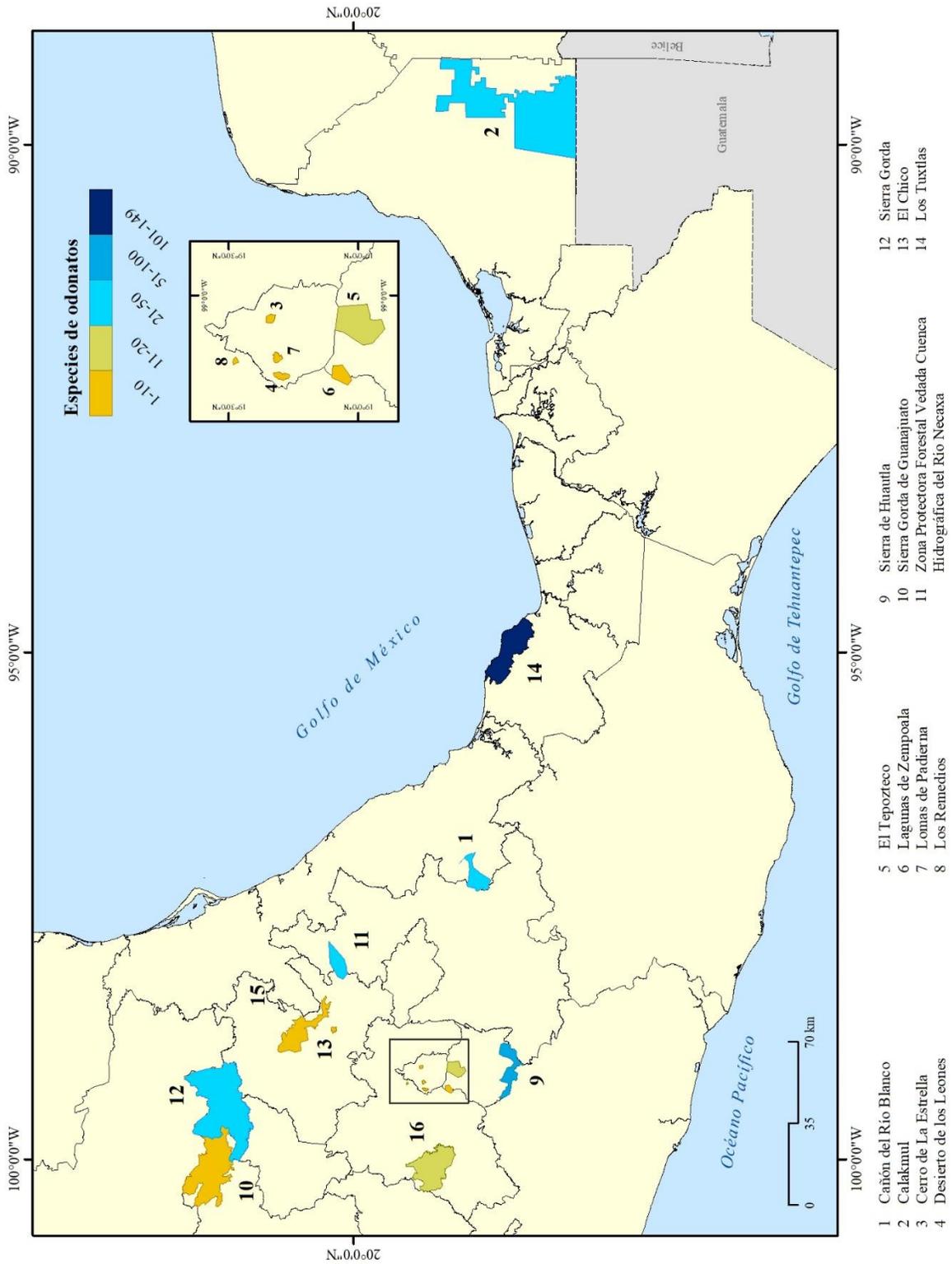
Cuadro 8. Áreas Naturales Protegidas con presencia de odonatos

Nombre	Decreto	Registros	Especies
Los Tuxtlas	Reserva de la Biosfera (RB)	798	149
Sierra Huautla	Reserva de la Biosfera (RB)	60	55
Z.P.F.V. la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa	Zona Protectora Forestal Vedada (APRN)	46	37
Calakmul	Reserva de la Biosfera (RB)	58	36
Cañón del Río Blanco	Parque Nacional (PN)	42	26
Sierra Gorda	Reserva de la Biosfera (RB)	29	23
El Tepozteco	Parque Nacional (PN)	14	11
Z.P.F.T.C.C. de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec	Área de Protección de los Recursos Naturales (APRN)	11	11
Los Remedios	Parque Nacional (PN)	4	4
Cerro de La Estrella	Parque Nacional (PN)	3	3
Desierto de los Leones	Parque Nacional (PN)	3	3
Lomas de Padierna	Parque Nacional (PN)	3	3
Lagunas de Zempoala	Parque Nacional (PN)	2	2
El Chico	Parque Nacional (PN)	1	1
Barranca de Metztitlán	Reserva de la Biosfera (RB)	1	1
Sierra Gorda de Guanajuato	Reserva de la Biosfera (RB)	1	1
<i>Total</i>		<i>1076</i>	<i>198</i>

Fuente: Base de datos de odonatos.

La tabla anterior muestra que la categoría de manejo con mayor riqueza de odonatos son las RB, posiblemente porque es la más estricta en protección (Durand y Jiménez, 2010). También los PN albergan parte importante de riqueza, ya que las actividades realizadas son principalmente de conservación, investigación y recreación sustentable,

Mapa 9. Áreas Naturales Protegidas de México con mayor riqueza de odonatos



Fuente: Elaboración propia con información de CONANP, 2016b y base de datos de odonatos.

Cuadro 9. Comparación de especies de México y Áreas Naturales Protegidas

Orden	Infraorden	Familia	Especies				
			México	ANP	ANP de estudio		
Odonata	Anisóptera	Aeshnidae	33	22	22		
		Cordulegastridae	1	1	0		
		Corduliidae	2	0	0		
		Gomphidae	46	17	15		
		Libellulidae	86	73	69		
		<i>Total</i>	<i>168</i>	<i>113</i>	<i>106</i>		
	Zygóptera	Amphipterygidae	1	0	0		
		Calopterygidae	9	8	8		
		Coenagrionidae	70	47	43		
		Lestidae	11	7	6		
		Megapodagrionidae	8	5	5		
		Perilestidae	1	1	1		
		Platystictidae	5	4	4		
		Polythoridae	1	1	1		
		Protoneuridae	8	6	6		
		Pseudostigmatidae	5	5	5		
		<i>Total</i>	<i>119</i>	<i>84</i>	<i>79</i>		
		<i>Total</i>			<i>287</i>	<i>197</i>	<i>185</i>

Fuente: Base de datos de odonatos.

3.1.2.1. Estimación de riqueza alfa

Con el objetivo de obtener la riqueza alfa⁵² se usaron los 962 registros correspondientes a las cuatro ANP con mayor riqueza de odonatos con 185 especies de odonatos (64% de las especies presentes en el país) (Cuadro 9). Sin embargo, una de las problemáticas frecuentes

⁵² Es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que se considera homogénea (Moreno, 2001).

para el análisis de cambio de riqueza de especies es la relación especie-área (Hillebrand *et al.*, 2018). El esfuerzo de muestreo de la base de datos no es uniforme en las cuatro áreas y en los mismos años, por lo que para solucionar el problema se unieron los años de colecta de las cuatro ANP y se generaron cinco periodos en función de los años disponibles: 1) 1984-1986, 2) 1987-1992, 3) 1995-1996, 4) 1997-1998 y 5) 2002-2005.

Para disminuir el efecto de la base incompleta, se usaron métodos bien establecidos, como los índices de diversidad (Beck y Kitching, 2007) para evaluar la riqueza alfa. La riqueza alfa se divide en dos grupos: 1) Métodos basados en la riqueza específica y 2) Métodos basados en la estructura de la comunidad.

El primer método cuantifica el número de especies presentes y el segundo la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie (Moreno, 2001). Para este estudio el primer método es el más conveniente, debido a que cumple con un objetivo de la investigación que es calcular la riqueza alfa de odonatos en las ANP terrestres de México en los cinco periodos, sin tomar en cuenta el valor de cada especie.

El método de riqueza específica se divide a su vez en cuatro grupos: 1) índices, 2) rarefacción, 3) funciones de acumulación y 4) métodos no paramétricos. Para el estudio se empleó el grupo de estimadores no paramétricos⁵³ porque predicen el número de especies a partir de los datos de incidencia (presencia-ausencia) (Bautista-Hernández *et al.*, 2013).

El método no asume un tipo de distribución estadística particular del conjunto de datos que se refleja en la curva de acumulación⁵⁴ (Escalante, 2003), no se ajusta a un modelo determinado (Moreno, 2001), tiene un menor sesgo y requiere de menor cantidad de datos (López-Gómez y Williams-Linera, 2006); pero resuelve la problemática de la base de datos referida anteriormente.

⁵³ También llamados libres de distribución (*distribution-free*) (Escalante, 2003).

⁵⁴ Se utiliza para estimar el número de especies esperadas en función del esfuerzo de muestreo (Villareal *et al.*, 2004).

El cálculo de la diversidad se obtuvo por medio de los estimadores no paramétricos Chao 2 e ICE que toman en cuenta las especies raras; únicas y duplicadas (Carvajal *et al.*, 2014:493). El estimador de Chao 2⁵⁵ utiliza datos de incidencia y considera la distribución de las especies en el muestreo (Moreno, 2001), es decir, estima el número de especies esperadas en una y dos muestras (Oreja *et al.*, 2010). La fórmula del estimador está representada de la siguiente manera (Moreno, 2001:32):

$$Chao_2 = S + \frac{L^2}{2M}$$

L es el número de especies que ocurre solamente en una muestra (especies “únicas”)

M es el número de especies que ocurre en exactamente dos muestras

El estimador de ICE (*incidence-based coverage estimator*) utiliza datos de incidencia (Villareal *et al.*, 2004), basado en el estimador de cobertura de muestro, es decir, es la suma de las probabilidades de encontrar especies observadas dentro del total de especies presentes, pero no observadas y estimando el número de especies esperadas en diez o menos muestras (Bautista-Hernández *et al.*, 2013). La fórmula del estimador está representada de la siguiente manera (Magurran, 2014:89):

$$S_{ICE} = S_{freq} + \frac{S_{infr}}{C_{ICE}} + \frac{Q_1}{C_{ICE}} \gamma_{ICE}^2$$

S_{infr} es el número de especies que ocurre en menos de diez muestras

S_{freq} es el número de especies comunes que ocurre en más de diez muestras

Q_1 es el número de especies presentes en j muestras (Q_1 el número de “únicas”)

C_{ICE} es $1 - Q_1 / N_{infr}$

$$\gamma_{ICE}^2 = \max \left\{ \frac{S_{infr}}{C_{ICE}} \frac{m_{infr}}{(m_{infr} - 1)} \frac{\sum_{i=1}^{10} i(i-1)F_1}{(N_{infr})^2} - 1, 0 \right\}$$

m_{infr} es el número de muestra con al menos una especie infrecuente

N_{infr} es el total de ocurrencias de especies infrecuentes

⁵⁵ Variante del estimador de Chao 1 (Bautista-Hernández *et al.*, 2013).

3.1.2.2. EstimateS

Los estimadores se calcularon mediante el software EstimateS versión 9.1.0 (Colwell, 2013) (<http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/>) y se obtuvo el valor promedio de cada estimador para los cinco periodos establecidos de las cuatro ANP seleccionada (Cuadro 10 y Grafica 2) y posteriormente se elaboró una curva de acumulación. Las curvas de acumulación o colecta de esfuerzo⁵⁶ de muestreo son útiles cuando se tiene problemas de muestreo, ya que los valores de riqueza esperada se pueden utilizar como la medida de diversidad alfa (Villareal *et al.*, 2004).

Se utiliza para estimar la riqueza de especies esperadas en función del esfuerzo de muestreo (Bautista-Hernández *et al.*, 2013), es decir, muestra como el número de especies se va acumulando en función del número acumulado de muestras (Villareal *et al.*, 2004:190), en el caso de estudio por los cinco periodos (Grafica 2).

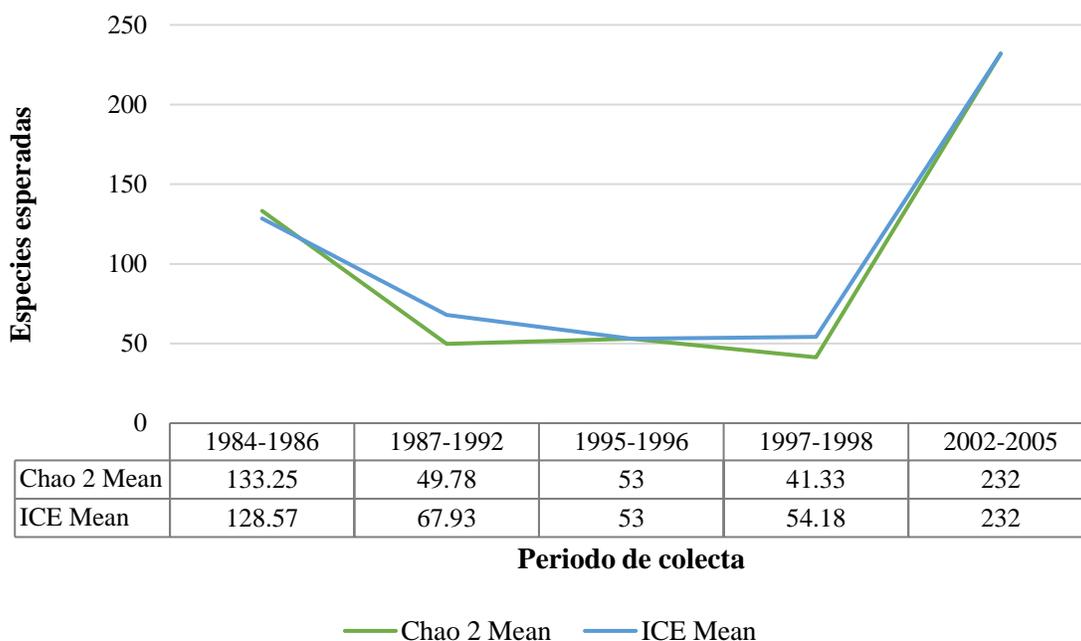
Cuadro 10. Valores estimados de riqueza potencial de especies por Chao 2 e ICE

Año	Especies estimadas	
	Chao 2 Mean	ICE Mean
1984-1986	133.25	128.57
1987-1992	49.78	67.93
1995-1996	53	53
1997-1998	41.33	54.18
2002-2005	232	232

Fuente: Resultados obtenidos.

⁵⁶ El esfuerzo puede ser por el número de individuos colectados, el número acumulativo de muestras y tiempo de muestreo (Villareal *et al.*, 2004).

Gráfica 2. Curva de acumulación de especies de estimadores Chao 2 e ICE



Fuente: Resultados obtenidos.

3.2. CLASlite

Con el objetivo de estimar el cambio en la superficie boscosa de las cuatro ANP con mayor riqueza de odonatos se realizó mediante percepción remota⁵⁷ con uso el software CLASlite (Carnegie Landsat Analysis System) versión 3.3 (CLASlite Team, 2013); el cual está diseñado para la identificación automatizada de los componentes de la estructura de bosque⁵⁸: la cobertura fraccional del dosel de vegetación, la vegetación muerta y las superficies descubiertas (Asner *et al.*, 2009a).

Cabe menciona, que solo se está estimando la cobertura boscosa, es decir, el bosque. Según la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA) (2020) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), por sus siglas en inglés, define

⁵⁷ Ciencia o arte de adquirir información de la superficie de la Tierra, sin estar en contacto directo en lugar (Aguirre, 2009).

⁵⁸ Enfocada principalmente a bosques tropicales, sin embargo, caracteriza también otro tipo de bosques. Esto se debe a que el grado de variación en estos tipos de caracteres puros es igual al de todos los tipos de vegetación del planeta combinados (CLASlite Team, 2013).

al bosque como:

Tierra que se extiende por más de 0.5 ha dotadas de árboles de una altura superior a 5 metros y una cobertura de copa superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano.

El software convierte las imágenes satelitales de su formato original (sin procesar) para genera mapas de: cobertura boscosa⁵⁹, deforestación⁶⁰ y degradación⁶¹; mediante clasificadores de árboles de decisión considerando las tres coberturas mencionadas⁶². Lo anterior lo realiza mediante las funciones principales que son: 1) calibrar imagen, 2) análisis espectral de cobertura fraccional, 3) análisis de cobertura de bosque (en el presente estudio no se realizó) y 4) detección de cambio de cobertura de bosque (Figura 5).

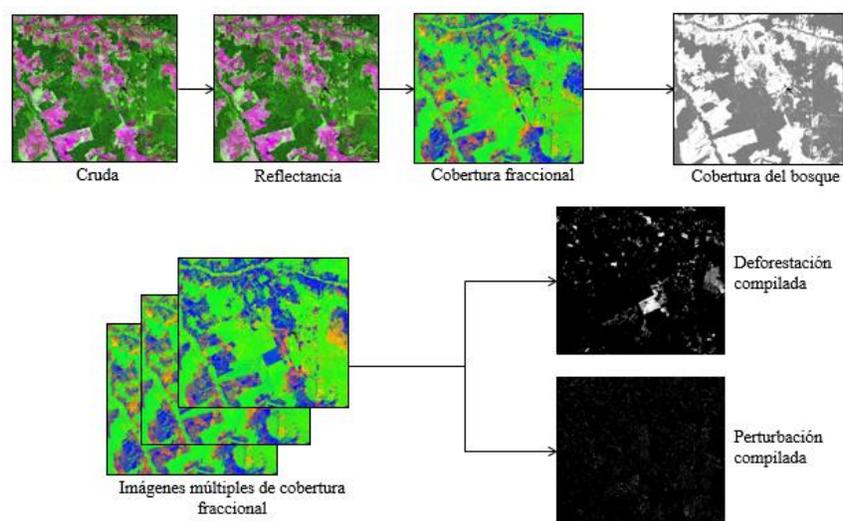


Figura 5. Resumen de procesamiento de CLASlite

Tomado de CLASlite Team, 2013.

⁵⁹ Superficie con cobertura de copas de árboles de más de 10% y un área de más de 0.5 ha (CLASlite Team, 2013). En el caso del estudio no se generó.

⁶⁰ Se refiere a la conversión difusa del dosel del bosque, es decir, la detección de pérdida de bosque (CLASlite Team, 2013).

⁶¹ Se refiere a la persistencia temporal o espacial de una perturbación (CLASlite Team, 2013).

⁶² Las tres coberturas fraccionales son determinantes de la composición, fisiología, estructura, biomasa y procesos biogeoquímicos del ecosistema (Asner *et al.*, 2009a).

3.2.1. Sensor Landsat como fuente de información

Se usaron imágenes del sensor Landsat⁶³ de los siguientes satélites: Landsat 4-5 Thematic Mapper (TM) y Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+); no se consideraron imágenes que tenían problema de bandeo por la falla del corrector de escaneo lineal (SCL), en el caso del último satélite (Figura 6). Se emplearon dos imágenes de los años más cercanos para los cinco periodos de tiempo establecidos según los años de colecta del grupo de interés (mencionados anteriormente) en temporada seca (considerado de enero-abril), para minimizar la cobertura de nubes y mejorar la visualización del territorio. Las imágenes fueron descargadas a través del portal de información geográfica del Servicio Geológico de los Estados Unidos (*United States Geological Survey*, USGS por sus siglas en inglés) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

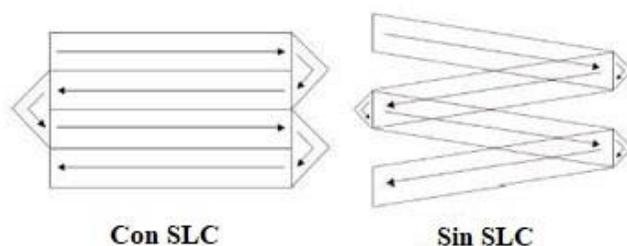


Figura 6. Corrector de escaneo lineal

Modificado de la USGS, 2018.

La información que se usa de las imágenes en percepción remota es la radiación reflejada de los objetos. La radiación electromagnética (Figura 7) tiene un desplazamiento diferente de un lugar a otro según las longitudes y frecuencia de la onda⁶⁴ (ambas son inversamente proporcionales) (Jensen, 2000), además, por la interacción de la energía (absorción, dispersión y emisión) con las moléculas y partículas de atmósfera y los diferentes elementos de la superficie, por lo que el sensor no capta la radiación de forma igual.

⁶³ Bajo la supervisión de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio o NASA por sus siglas en inglés (*National Aeronautics and Space Administration*). Es un sensor pasivo, es decir, detecta la radiación electromagnética emitida o reflejada de los elementos de la superficie terrestre gracias a una fuente de energía natural (sol).

⁶⁴ Se refiere el número de picos que pasa la onda por un punto fijo por unidad de tiempo (Lillesand, 2004), es decir, ciclo por segundo. Se mide en hertz (Hz), kilohertz (kHz), megahertz (MHz) y gigahertz (GHz) (Jensen, 2000).

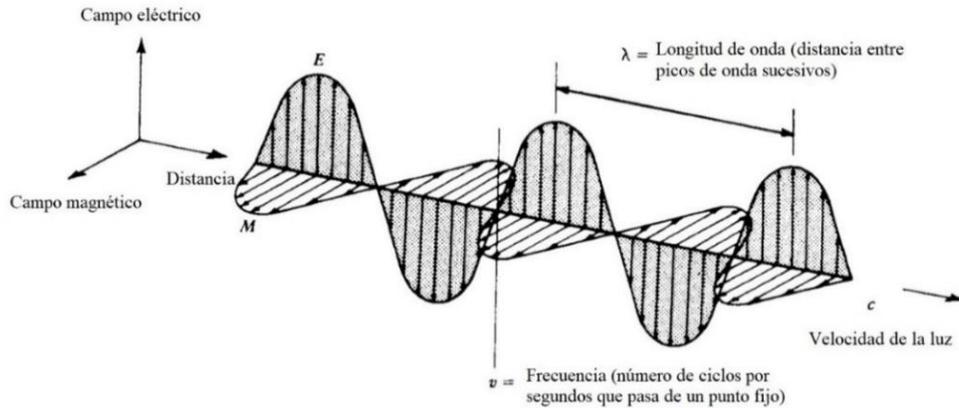


Figura 7. Radiación electromagnética

Modificado de Lillesand *et al.*, 2004:4.

El espectro electromagnético está compuesto por la diferente distribución energética (bandas espectrales) (Figura 8), según la longitud y frecuencia. Para el caso de Landsat, las bandas captadas son: espectro visible (azul, verde y rojo), siendo la única radiación electromagnética percibida por el ojo humano); infrarrojo cercano (NIR), que identifica vegetación y humedad; infrarrojo de onda corta (SWIR 1 y 2), que identifica el contenido de humedad en la vegetación y en suelo; infrarrojo térmico (TIR), que identifica el calor de la superficie terrestre (Chuvieco, 2002) y pancromática (Pan), con alta resolución para hacer una fusión con imágenes multiespectrales (Mangolini *et al.*, 1993) (Cuadro 11).

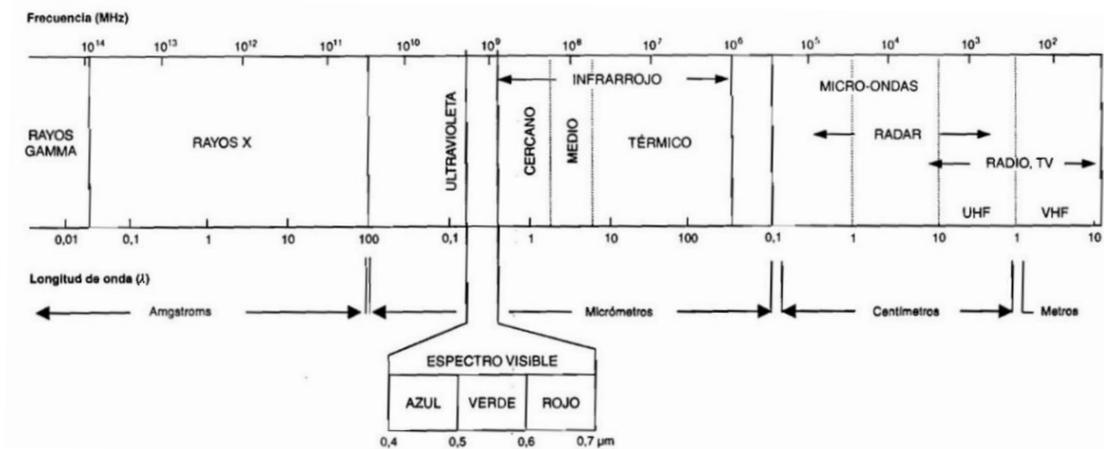


Figura 8. Espectro electromagnético

Tomado de Chuvieco, 2002:45.

Cuadro 11. Características de las imágenes de satélite de los sensores Landsat 4, 5 y 7

Sensor	Misión	Banda	Longitud de Onda (μ)	Resolución espacial (m)	Resolución radiométrica	Resolución temporal
TM	4-5	1 Azul	0.45-0.52	30	8 bit	16 días
		2 Verde	0.52-0.60			
		3 Rojo	0.63-0.69			
		4 NIR	0.76-0.90			
		5 SWIR 1	1.55-1.75			
		6 TIR	10.4-12.5	120		
		7 SWIR 2	2.8 -2.35	20		
ETM+	7	1 Azul	0.45-0.515	30	8 bit	16 días
		2 Verde	0.52-0.60			
		3 Rojo	0.63-0.69			
		4 NIR	0.76-0.90			
		5 SWIR 1	1.55-1.75			
		6 TIR	10.4-12.5	60		
		7 SWIR 2	20.9-2.35	30		
		8 Pan	0.5 - 0.90	15		

TM (Landsat Thematic Mapper) y ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)

Modificado de Galindo *et al.*, 2014:23.

3.2.1.1. Calibrar imagen a reflectancia

Para obtener los cambios en la cobertura boscosa, es necesario realizar ciertas correcciones para obtener valores de reflectancia⁶⁵, es decir, la cantidad de energía reflejada por los objetos de la superficie terrestre (Bolaños *et al.*, 2007), también conocida como reflectividad.

Antes de procesar las imágenes, el software requiere que las imágenes estén georreferenciadas (en el caso de Landsat no es necesario, ya que se encuentran georreferenciadas desde su origen), sin corrección atmosférica y con las bandas espectrales

⁶⁵ Es el coeficiente entre la energía refleja e incidente (Gutiérrez, 2005), expresaa en porcentaje (0 a 100%).

ordenadas de inferior a superior según el espectro electromagnético (CLASlite Team, 2013).

El software realiza la preparación por medio de la herramienta “Prepare Landsat”, en el que genera dos archivos para unir las bandas: “raw” compila las bandas espectrales azul, verde, roja, infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta, infrarrojo de onda corta 2; y “_therm” compila la banda térmica (*Ibid.*).

Posteriormente, mediante la herramienta “Calibrar imagen” se realiza la corrección radiométrica y corrección atmosférica, para eliminar cualquier anomalía y obtener valores ideales⁶⁶ en las imágenes por: deformaciones como el mal funcionamiento de sensor en el registro de información (líneas o píxeles) (Chuvieco, 2002), distorsiones por la rotación terrestre, condiciones de la atmosfera (Mather, 2011), la geometría de la superficie y el emplazamiento ambiental (Chuvieco, 2002).

La corrección radiométrica convierte los números digitales (ND)⁶⁷ a valores de radiancia⁶⁸ captados por el sensor. Cabe mencionar que la radiación reflejada tiene una reflexión diferente según la superficie: refleja en el mismo ángulo incidente (especular) o reflejada a diferentes direcciones (difusa o lambertiana) (*Ibid.*). El software utiliza factores de conversión (ganancia y compensación) obtenidos a través de los proveedores de los sensores, son factores de conversión que se usan para convertir unidades de números digitales en unidades de radiancia (CLASlite Team. 2013).

Por otro lado, la corrección atmosférica corrige los valores de radiancia para obtener la reflectancia, para minimizar los efectos de la atmosfera (vapor de agua y aerosoles) (*Ibid.*) en los valores debido a la dispersión de energía por las partículas (Riaño *et al.*, 2000) mediante modelación matemática. La dispersión puede ser de tres tipos: cuando la radiación

⁶⁶ Recuperar o remplazar la información de lo que no se tiene es imposible, sin embargo, se mejora el aspecto de la imagen para su interpretación (Chuvieco, 2002).

⁶⁷ También conocido como brillo, es el valor registrado por cada píxel de la cantidad de energía radiante recibida por el sensor (Brizuela *et al.*, 2007) expresados en enteros (0 a 255) y se representa en tonos o niveles de gris por cada píxel (Gutiérrez, 2005).

⁶⁸ Es la cantidad de radiación detectada por el sensor satelital por unidad de área y por un ángulo sólido en una dirección específica, (Gutiérrez, 2005), es expresada en vatios por metro cuadrado por unidad de ángulo (CLASlite Team, 2013 con números enteros de 0 a 10 000 (100%).

interactúa con partículas más pequeñas que la longitud de onda (Rayleigh)⁶⁹; cuando las partículas son del mismo tamaño que la longitud de onda (Mie)⁷⁰; y cuando la longitud de onda es más grande que la partícula de la atmosfera (no selectiva)⁷¹ (Lillesand *et al.*, 2004).

El software usa el modelo 6S de transferencia radiativa (segunda simulación de la señal de satélite en el espectro solar)⁷² (Vermote *et al.*, 1997) (Figura 9), que simula la señal emitida por una superficie y que es observado por un sensor radiométrico a bordo (satélite, avión) a diferentes altitudes y bajo diferentes condiciones de la atmósfera, iluminación solar, ángulo de visión (Mangolini *et al.*, 1993) y toma de referencia datos del sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), ya que proporciona la cobertura global casi diaria (CLASlite Team, 2013); con el fin de corregir los efectos de la atmosfera para cada imagen.

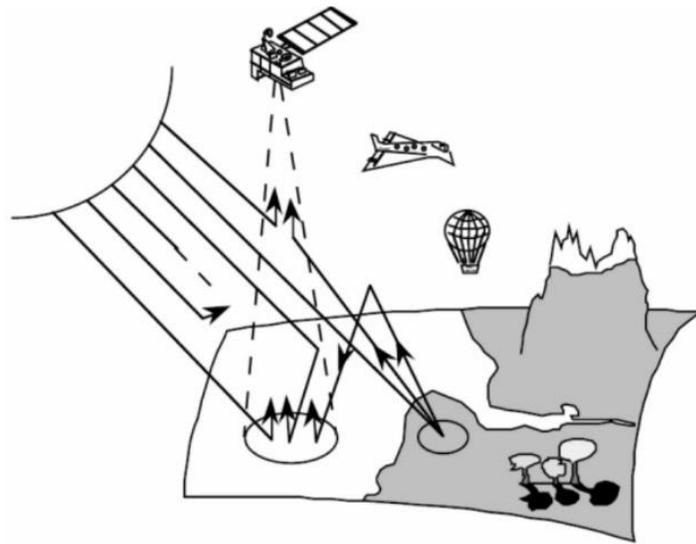


Figura 9. Segunda Simulación de una Señal de Satélite en el Vector de Espectro Solar (6SV)

Tomado de CLASlite Team, 2013.

⁶⁹ Un ejemplo es la coloración del cielo debido a que la luz solar interactúa con la atmosfera terrestre hay una dispersión en el espectro visible en la onda más corta de azul. Al atardecer o amanecer los rayos del sol recorren una distancia más larga por la atmosfera, por lo que la dispersión (y absorción) es el mismo espectro visible en ondas un poco más largas de naranja y rojo (Lillesand *et al.*, 2004:10).

⁷⁰ Por ejemplo, el vapor de agua y polvo (Lillesand *et al.*, 2004).

⁷¹ Un ejemplo es la coloración de las nubes o niebla, debido el espectro visible se dispersa (Lillesand *et al.*, 2004).

⁷² Desarrollado por el Laboratorio de Óptica Atmosférica o LOA por sus siglas en francés (*Laboratoire d'Optique Atmosphérique*).

En este proceso emplean las imágenes de radiancia y térmica (obtenidas del paso anterior), información del metadato (fecha y hora de la imagen, satélite, número de bandas y configuración de las ganancias y sistema de procesamiento), y las medidas promedio mensuales respecto a la fecha de la imagen (*Ibid.*). El resultado final es una imagen corregida con los valores de reflectancia en seis.

3.2.1.2. Cobertura fraccional

Para obtener la cobertura fraccional se toma la imagen de reflectancia (resultado del paso anterior), debido a que a partir de los valores se puede discernir entre los diferentes elementos de la superficie terrestre como vegetación, cuerpos de agua, edificaciones, caminos, etcétera. Cada elemento tiene una firma espectral (Figura 10), es decir, los elementos tienen un comportamiento distinto en las bandas espectrales único ⁷³ que se notan en el porcentaje de reflectancia de cada píxel que compone la imagen.

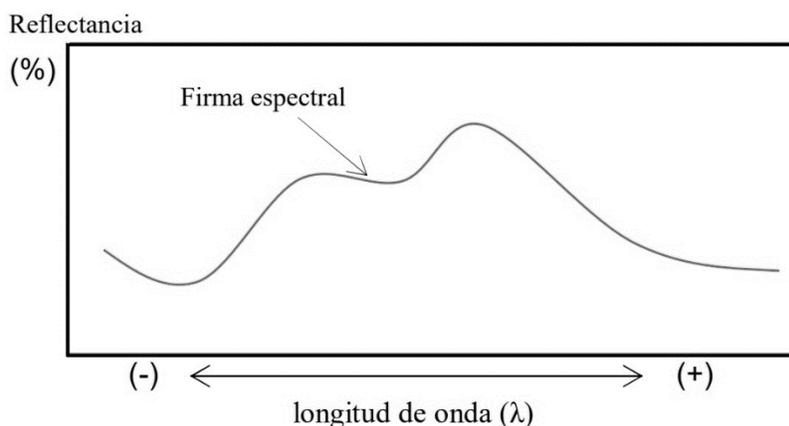


Figura 10. Firma espectral

Tomado de Hernández y Montaner, 2009.

A partir de la firma espectral se puede asignar a un píxel completo una clase o cobertura (por ejemplo, bosque, suelo, tipo de ropa), no obstante, representa fallas debido a que la clasificación de píxeles enteros tiende a generalizar una sola clase, aunque en la realidad el área de un píxel contenga más de una clase. Dado lo anterior, el software está diseñado para minimizar las fallas de clasificación, ya que incluye dentro un mismo píxel tres clases, a lo

⁷³ Se conoce como caracteres espectrales puros o *endmember* (Tello y Rodríguez, 2015).

que se le conoce como clasificación subpíxel. La clasificación subpíxel categoriza dentro de un píxel la cobertura fraccional de diferentes tipos de clases (CLASlite Team, 2013). Para este procedimiento, se debe hacer un Análisis de Mezcla Espectral (SMA, Spectral Mixtures Analysis).

El SMA asume que los espectros de una imagen están formados por una combinación lineal de reflectancia de n espectros puros (o endmembers) (Tello y Rodríguez, 2015), de tal manera que (CLASlite Team, 2013):

$$R_b = \sum_{i=1}^N f_i R_{i,b} + e_b$$

$$\sum_{i=1}^N f_i = 1$$

R_b reflectancia para cada banda b en la imagen

N número de caracteres espectrales puros

f_i fracción del carácter espectral puro i

$R_{i,b}$ reflectancia del carácter espectral puro i en la banda b

e_b error residual para cada banda

Este procedimiento “permite extraer, a partir de la reflectancia de una imagen, información de las propiedades físicas de la cobertura terrestre a nivel píxel basándose en los espectros puros, definidos previamente por las longitudes de ondas detectadas y el número de bandas del sensor” (Tello y Rodríguez, 2015:157). A comparación de otro tipo de clasificaciones que asignan pixeles a la clase de cobertura más dominante, el SMA descompone cada píxel en las clases de cobertura que lo integran (Asner *et al.*, 2009b:6) indicadas a continuación para el software:

PV vegetación fotosintética o viva

- Pigmentos fotosintéticos en las hojas
- Contenido de agua en el dosel
- Cantidad de follaje en el dosel

NPV vegetación no fotosintética o muerta

- Hojarasca superficial
- Residuos de la vegetación por tala
- Pasto senescente

S superficie descubierta

- Rocas
- Infraestructura humana
- Ladrillo o concreto

Para obtener el análisis de cobertura del bosque el SMA, se basa en dos metodologías para lograrlo:

1) Bibliotecas de caracteres espectrales puros

El software contiene una biblioteca espectral, es decir, es un conjunto de caracteres espectrales puros (de aproximadamente más de 250,000) que sirven para la identificación de coberturas. Los endmembers de la biblioteca son procedentes del sensor Earth Observing 1-Hyperion (EO-1)⁷⁴ (para PV) y de un espectrómetro de campo⁷⁵ (para NPV y S) (Davidson *et al.*, 2008).

2) Segregación Espectral Automatizada Monte Carlo (*Automated Monte Carlo Unmixing*, AutoMCU)

Es un análisis cuantitativo y automatizado que estima las posibles combinaciones de los caracteres puros de los espectros a partir de la reflectancia, que pueden estar presentes en cada píxel de la imagen. La selección de las combinaciones es aleatoria por píxel y se repite 50 veces hasta obtener un valor porcentual promedio para cada fracción de las coberturas (PV, NPV y S) (CLASlite Team, 2013), es decir, cada píxel tiene una suma combinada de reflectancia de las tres coberturas fraccionales (0 a 100%) (Figura 11) (Davidson *et al.*, 2008).

⁷⁴ Es el primer satélite en la serie de Observación de la Tierra del Nuevo Programa del Milenio de la NASA, lanzado el 21 de noviembre de 2000. Es un instrumento de imagen hiperspectral de alta resolución, toma imágenes en 220 bandas espectrales a una resolución espacial de 30 metros (CRISP, 2001).

⁷⁵ Colecta los espectros en primer plano de hojas individuales, follajes o ramas. También colecta datos aéreos sobre el sombreado dentro de y entre las coronas del dosel (CLASlite Team, 2013).

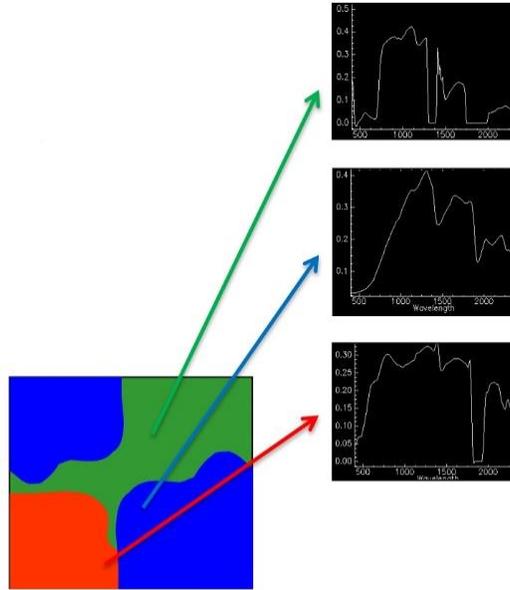


Figura 11. Análisis de Mezcla Espectral (SMA)

Tomado de (CLASlite Team, 2013).

El algoritmo de AutoMCU descompone cada píxel de la imagen y usa la siguiente ecuación lineal (Asner *et al.*, 2009b:6) considerando la biblioteca espectral y para cada longitud de onda:

$$\begin{aligned} \rho(\lambda)_{\text{píxel}} &= \Sigma [C_e \cdot \rho(\lambda)_e] + e \\ &= [C_{\text{pv}} \cdot \rho(\lambda)_{\text{pv}} + C_{\text{npv}} \cdot \rho(\lambda)_{\text{npv}} + C_{\text{substrate}} \cdot \rho(\lambda)_{\text{substrate}}] + e \end{aligned}$$

donde $\rho(\lambda)_e$ es la biblioteca de firmas de reflectancia (e) en la longitud de onda λ y e es un término de error.

Posteriormente, se ajusta las estimaciones de cobertura fraccional mediante datos de los Campos Continuos de Vegetación de la NASA (Vegetation Continuos Fields - VCF)⁷⁶ (*Ibid.*), ya que asegura que los resultados del software están estandarizados en diferentes partes del mundo (CLASlite Team, 2013). El software toma cada píxel de VCF con más de 80% de cobertura de árboles y lo compara con la imagen de cobertura fraccional (respecto a

⁷⁶ Es un producto que se compone tres componentes de cobertura de suelo (vegetación arbolada, vegetación no arbolada y cobertura sin vegetación aparente) y evalúa la proporción de cambios de cobertura de suelo a nivel global por medio de datos del sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) (Jean-Francois, 2011). Cada píxel muestra una mezcla de subpíxel de las tres coberturas (Dimiceli, 2015).

la ubicación geográfica). Se ajusta el porcentaje de PV (mayor a 80%) de la imagen, de forma que la fracción media de PV corresponda con el valor promedio de la imagen de VCF (mayor a 80%) (*Ibid.*).

Por último, con el propósito de mejorar los estimadores de cobertura fraccional de los píxeles después del AutoMCU, con la herramienta de “*Enmascaramiento*”⁷⁷, se asigna un umbral para disminuir el efecto de las nubes, sombras y cuerpos de agua; que no se lograron eliminar con ayuda de las bibliotecas espectrales (Asner *et al.*, 2009b). Para el estudio se revisó el resultado de cada imagen y se indicó el umbral de enmascaramiento de cada una, debido a que no todas requieren disminuir anomalías.

Finalmente, el resultado de SMA es una imagen de cobertura fraccional con las siguientes bandas (CLASlite Team, 2013:14):

Banda 1: Cobertura fraccional de *sustrato expuesto (S)*, expresado en porcentaje (0-100%)⁷⁸

Banda 2: Cobertura fraccional de *vegetación fotosintética (PV)*, expresada en porcentaje (0-100%)

Banda 3: Cobertura fraccional de *vegetación no fotosintética (NPV)*, expresada en porcentaje (0-100%)

Banda 4: Incertidumbre de la fracción S, expresada como la desviación estándar de las iteraciones de AutoMCU

Banda 5: Incertidumbre de la fracción PV, expresada como la desviación estándar de las iteraciones de AutoMCU

Banda 6: Incertidumbre de la fracción NPV, expresada como la desviación estándar de las iteraciones de AutoMCU

Banda 7: Error total, expresado como el RMSE de la firma de reflectancia modelada vs. observada.

⁷⁷ Los cuerpos de agua se enmascaran automáticamente en el proceso (Asner *et al.*, 2009b).

⁷⁸ En ocasiones la cobertura fraccional en un píxel puede no llegar a sumar 100% (resultado de un modelo probabilístico), debido al ajuste de la fracción VCF o por píxeles anómalos, es decir, que se clasifican correctamente porque no están bien representados en la biblioteca espectral (CLASlite Team, 2013:15).

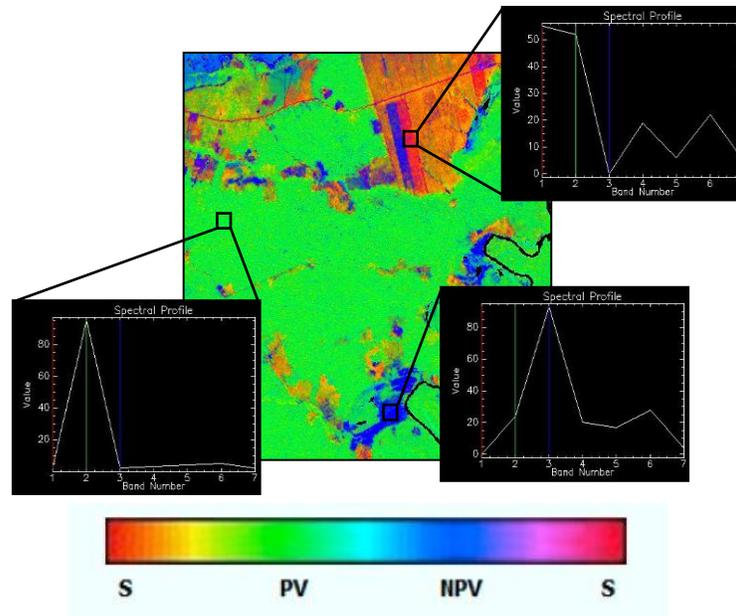


Figura 12. Cobertura fraccional de PV, NPV y Sustrato.

Tomado de (CLASlite Team, 2013).

Una ventaja del enfoque Monte Carlo es que como se mencionó anteriormente se hacen iteraciones (50) para cada píxel, lo que ayuda a obtener mejores resultados en el SMA. Además, para cada cobertura fraccional se representa la incertidumbre de cada fracción de cobertura, expresada como la desviación estándar⁷⁹ (CLASlite Team, 2013), es decir, es una medida de dispersión que señala cuán lejanos están los valores de un conjunto de datos respecto a la media o promedio (Box *et al.*, 2008).

También, se calcula el ajuste del espectro modelado para cada píxel, dando como resultado una banda con el error cuadrático medio (RMSE)⁸⁰, es un estimador que mide el promedio de los errores al cuadrado, en otras palabras, es la diferencia entre el estimador y lo que se estima (Asner *et al.*, 2009b). Con ambos resultados se puede evaluar el rendimiento del AutoMCU píxel por píxel.

⁷⁹ Los valores altos indican una elevada incertidumbre (CLASlite Team, 2013), es decir mayor es la dispersión.

⁸⁰ Cuando los valores de esta banda son altos, significa que la estimación de la cobertura fraccional tiene un error bajo (CLASlite Team, 2013).

3.2.1.3. Cambio de cobertura de bosque

Para detectar la pérdida de la cobertura boscosa (deforestación) y aumento (crecimiento secundario) o degradación (áreas de perturbación forestal) el software realiza un análisis de múltiples imágenes a partir la clasificación resultante de la cobertura fraccional (NV, NPV y S) entre dos o más imágenes de la misma área geográfica (*Ibid.*). Para este paso, se aplican árboles de decisiones sobre los valores de cobertura fraccional y se clasifican los píxeles como deforestación o perturbación bajo ciertos criterios, respecto de un año a otro.

El árbol de decisiones para la deforestación propuesto por el software es el siguiente (CLASlite Team, 2013:18):

Deforestación

$((PV1 - PV2) \geq 25)$ [la disminución de la PV captura la mayor parte de la deforestación]

$((S1 \leq 5) \text{ y } ((S2 - S1) \geq 15))$ [el incremento de S captura la deforestación seguida por recrecimiento temprano]

$((PV2 < 80) \text{ y } ((NPV2 - NPV1) \geq 20))$ [incremento en la NPV]

Por otro lado, el árbol de decisiones para la perturbación comprende muchos más píxeles, debido a que es una forma más sutil de pérdida de bosque, el cual se muestra a continuación (CLASlite Team, 2013:18):

Perturbación

$((((NPV2 - NPV1) \geq 10) \text{ y } ((PV1 - PV2) > 10)) \text{ ó } ((S1 \leq 5) \text{ y } ((S2 - S1) > 10) \text{ y } (S2 \leq 15)))$

Donde las letras se usan para ejemplificar a qué periodo pertenece cada cambio:

PV1 = primera imagen fraccional de vegetación fotosintética

NPV1 = primera imagen fraccional de vegetación no fotosintética

S1 = primera imagen fraccional de sustrato expuesto

PV2 = segunda imagen fraccional de vegetación fotosintética

NPV2 = segunda imagen fraccional de vegetación no fotosintética

S2 = segunda imagen fraccional de sustrato expuesto

Posteriormente, el software aplica un “árbol de decisiones de exclusión”, es decir, de los resultados obtenido se hace una limpieza de los mapas más riguroso con el fin de remover los falsos positivos (cuerpos de agua, nubes, sombra de nubes y topografía) de deforestación y perturbación. En este proceso también se usan arboles de decisiones para los valores de PV, NPV, S y RMSE; además considera los valores de las bandas 1 y 4 de reflectancia. Los árboles de decisión para la exclusión se muestran a continuación (CLASlite Team, 2013:19):

Para deforestación

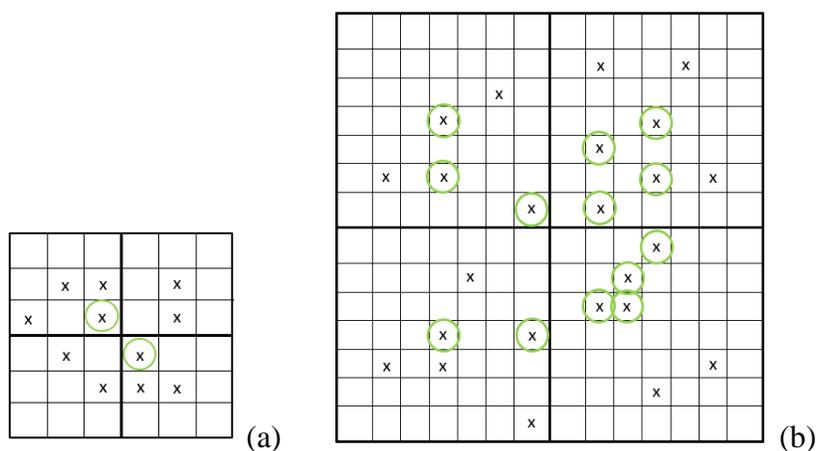
- ((PV1 ≤ 0) y (NPV1 ≤ 0) y (S1 ≤ 0)) [pixeles enmascarados (imagen 1)]
- ((PV2 ≤ 0) y (NPV2 ≤ 0) y (S2 ≤ 0)) [pixeles enmascarados (imagen 2)]
- ((PV1 < 80) ó (S1 ≥ 15)) [pixeles no boscosos (imagen 1)]
- ((PV1 ≥ 80) y (NPV1 ≥ 35) y (RMSE1 ≥ 6)) [sombras de nubes no enmascaradas y agua (imagen 1)]
- ((PV2 ≥ 80) y (NPV2 ≥ 35) y (RMSE2 ≥ 6)) [sombras de nubes no enmascaradas y agua (imagen 2)]
- ((S2 ≥ 50) y (S2 < 100) y (PV2 > 0)) [anillos de nubes no enmascaradas (imagen 2)]
- ((NPV2 – NPV1) < 10) y (abs (Ref11b1 – Ref12b1)>300)) [anillos de nubes no enmascarados, sombras de nubes y sombras de montañas y topografía]

Para perturbación:

- ((PV1 ≤ 0) y (NPV1 ≤ 0) y (S1 ≤ 0)) [pixeles enmascarados (imagen 1)]
- ((PV2 ≤ 0) y (NPV2 ≤ 0) y (S2 ≤ 0)) [pixeles enmascarados (imagen 2)]
- ((PV1 < 80) ó (S1 ≥ 15)) [pixeles no boscosos (imagen 1)]
- ((PV1 ≥ 80) y (NPV1 ≥ 35) y (RMSE1 ≥ 6)) [sombras de nubes no enmascaradas y agua (imagen 1)]
- ((PV2 ≥ 80) y (NPV2 ≥ 35) y (RMSE2 ≥ 6)) [sombras de nubes no enmascaradas y agua (imagen 2)]
- ((S2 ≥ 50) y (S2 < 100) y (PV2 > 0)) [anillos de nubes no enmascarados (imagen 2)]
- ((NPV2 – NPV1) < 10) y (abs (Ref11b1 – Ref12b1)>300) y (abs (Ref11b4 – Ref12b4) < 700) y (abs (Ref11b4 – Ref12b4)>200)) [anillos de nubes no enmascarados, sombras de nubes y sombras de montañas y topografía]

Después, el software de forma automática hace un filtro espacial para agregar los pixeles aislados o que fueron confundidos como “no deforestación” o “perturbación”, dado que la pérdida de bosque no se da de manera aislada, sino que tiene una continuidad (Figura 13). El primer filtro es el de deforestación, que agrega un píxel dentro de una ventana de 3x3 con uno de cinco (o más) pixeles de deforestación alrededor.

Los pixeles que no cumplen los parámetros de deforestación se añaden a perturbación. Posteriormente, se aplica un segundo filtro correspondiente a la perturbación, el cual agrega un píxel dentro de una ventana de 7x7 rodeado de al menos cinco pixeles de perturbación⁸¹ (*Ibid.*).



(a) Filtro de deforestación (b) Filtro de perturbación

Figura 13. Filtros espaciales de deforestación y perturbación

Tomado de CLASlite Team, 2013.

Posteriormente, el software realiza una “función de compilación” (para el caso del estudio se aplicó la función) donde los pixeles de perturbación cercanos a un parche continuo de pixeles de deforestación se mueven de la salida de perturbación a la salida de deforestación (*Ibidem*: 21). Lo anterior se logra mediante la aplicación de un búfer con un radio de 120 metros al límite de los parches contiguos de deforestación, de forma que los pixeles asociados a perturbación que se encuentra dentro del búfer son reasignados a deforestación.

⁸¹ Este filtro es menos conservador debido a que la perturbación es más probable que ocurra en parches aislados y no tan continuos como es el caso de la deforestación (CLASlite Team, 2013).

Es importante mencionar que las cuatro ANP (RB Los Tuxtlas, RB Sierra de Huautla, APRN Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, y RB Calakmul) seleccionadas para el estudio tiene diferente tipo de vegetación, por lo que se modificaron los umbrales del árbol de decisiones para identificar el cambio de la cobertura boscosa (deforestación y perturbación) y el árbol de exclusión.

Se establecieron tres análisis con los siguientes criterios: 1) umbrales propuestos por CLASlite (mencionados anteriormente), 2) umbrales propuestos por debajo de los valores propuestos por el software y, 3) umbrales propuestos por arriba de los valores propuestos de igual forma por el software; teniendo así tres escenarios en los que se puede dar el cambio de cobertura boscosa. Los árboles de decisiones propuestos se pueden consultar en la parte de Anexos.

3.3. Análisis en el cambio de la cobertura boscosa

Para el estudio se aplicó el análisis para los cinco periodos (1984-1986, 1987-1992, 1995-1996, 1997-1998 y 2002-2005), establecidos previamente por el esfuerzo de muestro de las cuatro ANP usadas para el análisis, para indicar el cambio del inicio de periodo y al final de este; con el objetivo de estimar el cambio en la cobertura en las ANP con mayor riqueza.

El siguiente cuadro se muestra las imágenes Landsat elegidas de las cuatro ANP para los cinco periodos mencionados anteriormente.

Cuadro 12. Temporalidad de imágenes Landsat en los cinco periodos

Temporalidad	Los Tuxtlas	Sierra de Huautla	Z.P.F.V. Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa	Calakmul
<i>Tiempo 1</i>	L5 1986-1988 L4	L5 1985-1986 L5	L5 1986-1989 L5	L5 1986-1989 L4
<i>Tiempo 2</i>	L4 1988-1992 L4	L4 1987-1991 L5	L5 1989-1993 L4	L4 1989-1993 L5
<i>Tiempo 3</i>	L5 1994-1997 L5	L5 1994-1997 L5	L4 1994-1997 L5	L5 1994-1997 L5
<i>Tiempo 4</i>	L5 1997-1999 L5	L5 1997-1998 L5	L5 1997-1999 L5	L5 1997-1999 L5
<i>Tiempo 5</i>	L7 2000-2003 L7	L7 2000-2003 L7	L7 2000-2003 L7	L7 2000-2003 L7

L4=Landsat 4 TM (Thematic Mapper), L5=Landsat 5 TM (Thematic Mapper) y L7=Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus).

Fuente: Resultados obtenidos y USGS, 2017.

3.3.1. Superficie pérdida por cambio de cobertura boscosa

Con el propósito de analizar los resultados obtenidos de cada periodo sobre el cambio en la cobertura boscosa, el software arroja dos imágenes correspondientes a la deforestación y perturbación respectivamente; las cuales por medio del uso de un SIG se calculó el área de pérdida de cobertura boscosa (de metros cuadrados a hectáreas) para comparar con la superficie total de cada ANP (Gráfica 3 y Cuadro 13).

Lo anterior se realizó para los tres escenarios:

- 1) *umbrales propuestos por CLASlite*
- 2) *umbrales propuestos por debajo de los valores propuestos por el software*
- 3) *umbrales propuestos por arriba de los valores propuestos por el software*

Cabe mencionar que los resultados tuvieron que ser verificados ya que la presencia de nubes dificulta la identificación de la pérdida de cobertura boscosa (deforestación y perturbación) y generaba una sobreestimación, específicamente en la Reserva de la Biosfera Calakmul. Esto se logró mediante la combinación de bandas espectrales en un SIG, para eliminar la falsa pérdida de cobertura: bandas 5, 4 y 3 (SWIR 1, NIR y rojo). A continuación, se muestra un ejemplo de la combinación de bandas para identificar la falsa pérdida de cobertura en el periodo 3 (1993-1994) en los resultados obtenidos de deforestación:



Figura 14. Ejemplo de la combinación de bandas 5, 4 y 3 en la Reserva de la Biosfera Calakmul en 1993

Fuente: USGS, 2017.

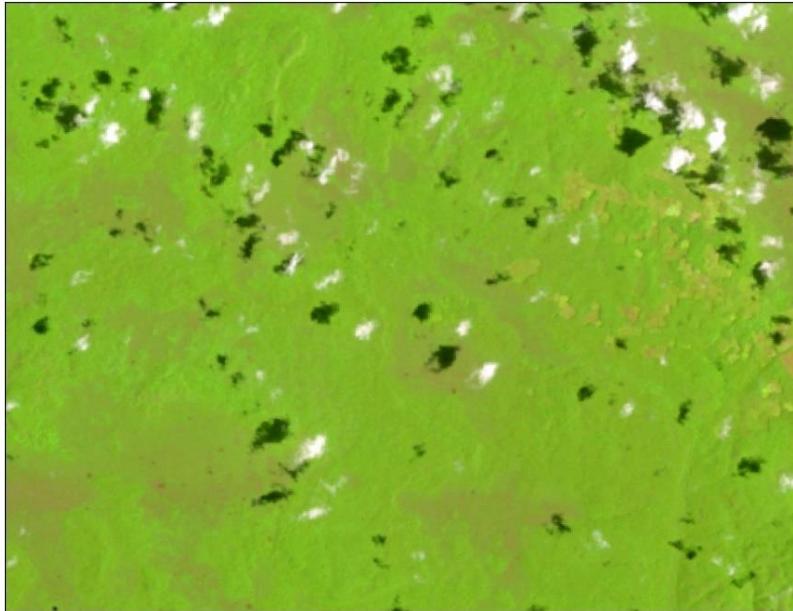


Figura 15. Ejemplo de la combinación de bandas 5, 4 y 3 en la Reserva de la Biosfera Calakmul en 1994

Fuente: USGS, 2017.

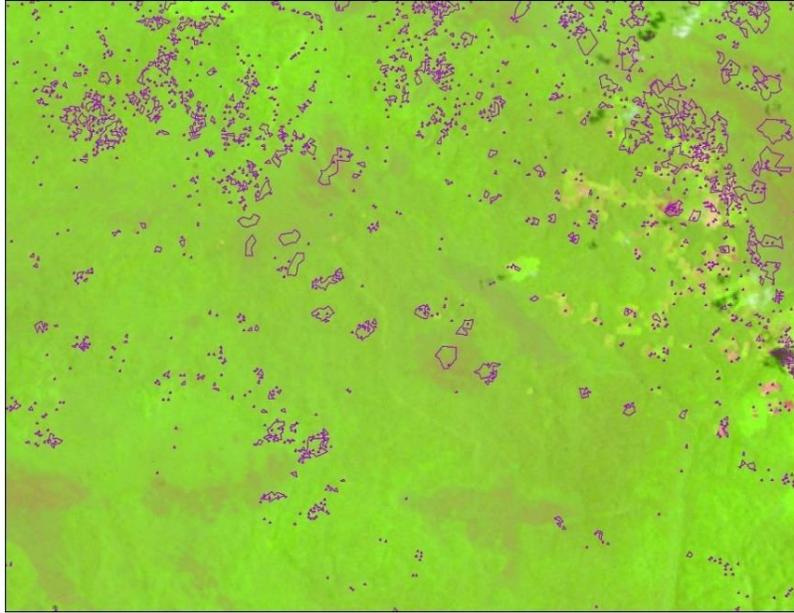


Figura 16. Ejemplo de falsa pérdida de cobertura boscosa por la nubosidad en la Reserva de la Biosfera de Calakmul en 1993 para el escenario 2 en deforestación

Fuente: USGS, 2017.

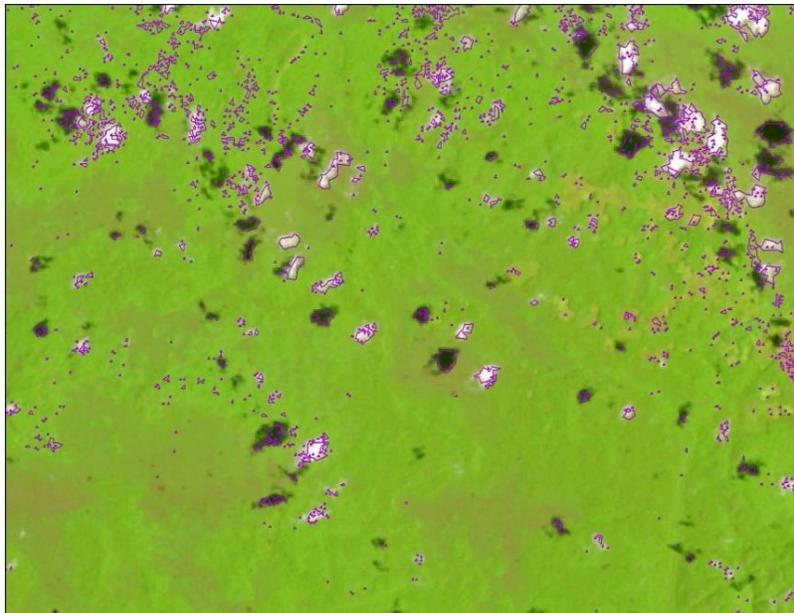
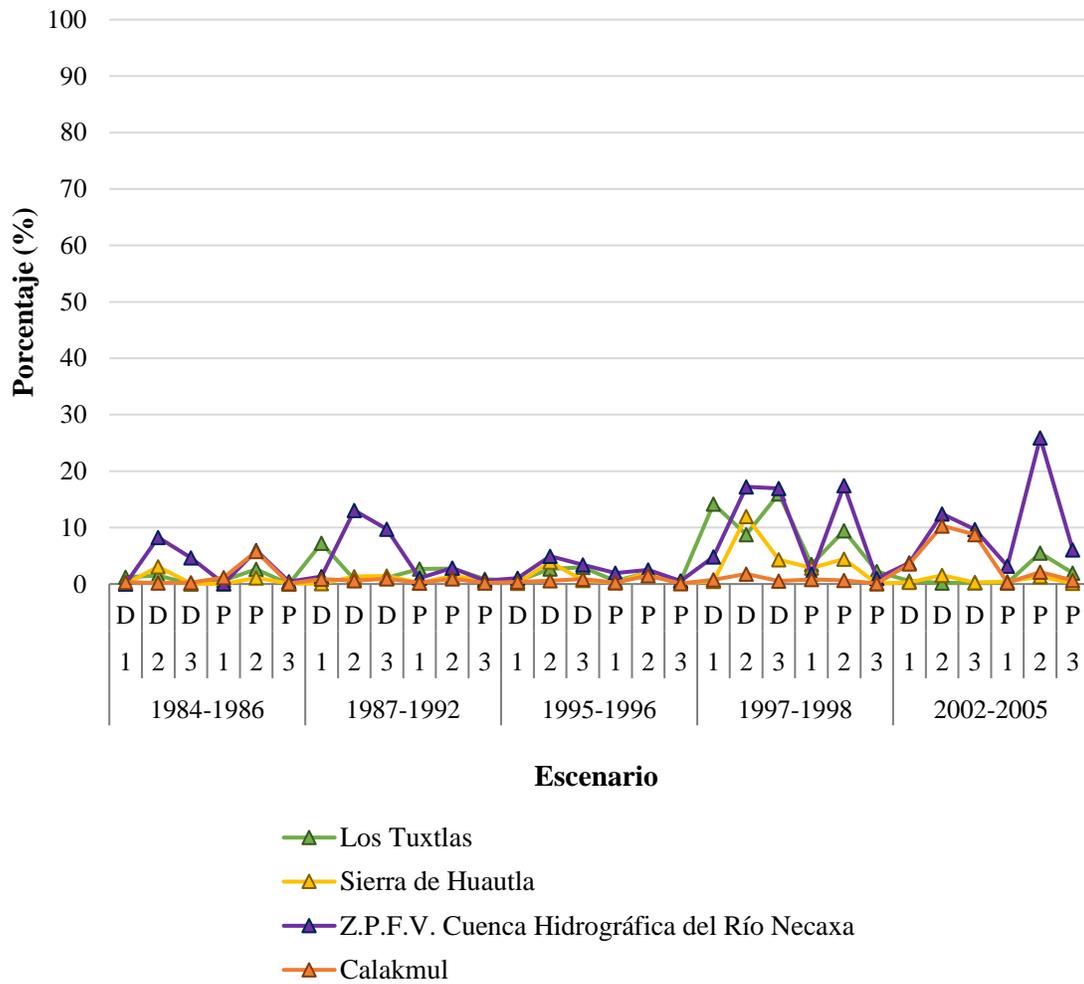


Figura 17. Ejemplo de falsa pérdida de cobertura boscosa por la nubosidad en la Reserva de la Biosfera de Calakmul en 1994 para el escenario 2 en deforestación

Fuente: USGS, 2017.

Gráfica 3. Porcentaje de cambio de la cobertura boscosa respecto a la superficie por periodo en las Áreas Naturales Protegidas



Cambio de cobertura: (D) Deforestación y (P) Perturbación.

Fuente: Resultados obtenidos.

Los resultados muestran que la zona con más cambio en la cobertura boscosa es la Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa , seguido de Los Tuxtlas, posteriormente la Sierra de Huautla y finalmente Calakmul (Gráfica 3 y Cuadro 13), en los tres escenarios.

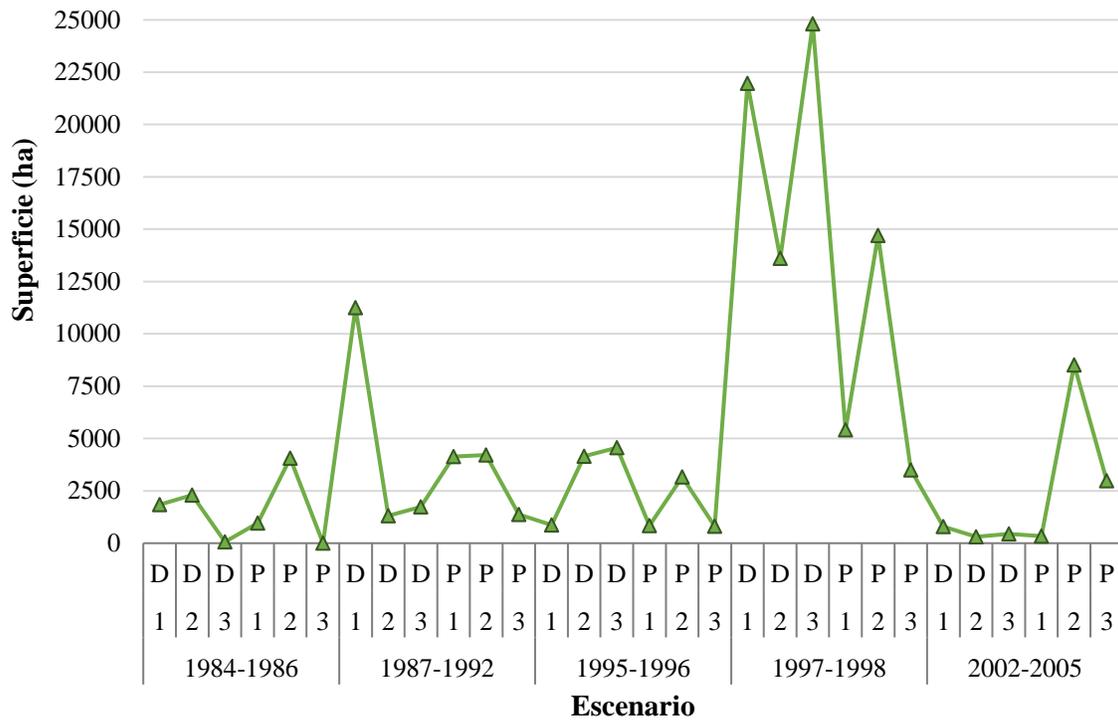
Cuadro 13. Cambio acumulado en la cobertura boscosa y porcentaje de pérdida respecto a la superficie total de los periodos establecidos en las Áreas Naturales Protegidas

Años de colecta	Escenario	Tipo de pérdida de cobertura	Los Tuxtlas		Sierra de Huautla		Z.P.F.V. Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa		Calakmul	
			Superficie (ha)							
			155,122.46		59,030.94		42,129.35		723,185.12	
			ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
1984-1986	1	D	1848.96	1.19	0	0	10.89	0.03	2217.67	*0.31
	2	D	2294.82	*1.48	1819.08	*3.08	3486.33	*8.28	1392.74	0.19
	3	D	64.98	0.04	40.68	0.07	1956.87	4.64	1687.34	0.23
	1	P	955.98	0.62	0	0	31.5	0.07	8202.96	1.13
	2	P	4059.63	*2.62	635.22	*1.08	2507.85	*5.95	41571.81	*5.75
	3	P	3.96	0	33.66	0.06	167.85	0.4	568.47	0.08
1987-1992	1	D	11252.88	*7.25	47.79	0.08	553.86	1.31	6450.22	0.89
	2	D	1305.81	0.84	791.73	1.34	5507.73	*13.07	4381.21	0.61
	3	D	1733.67	1.12	834.12	*1.41	4088.79	9.71	6594.9	*0.91
	1	P	4141.62	2.67	124.11	0.21	452.16	1.07	1580.54	0.22
	2	P	4220.28	*2.72	836.1	*1.42	1193.85	*2.83	6763.21	*0.94
	3	P	1367.1	0.88	416.07	0.7	255.24	0.61	1374.1	0.19
1995-1996	1	D	872.82	0.56	85.23	0.14	446.22	1.06	2592.81	0.36
	2	D	4159.35	2.68	2314.89	*3.92	2068.11	*4.91	4399.3	0.61
	3	D	4560.21	*2.94	371.43	0.63	1436.94	3.41	6378.75	*0.88
	1	P	838.08	0.54	137.88	0.23	809.55	1.92	1998.65	0.28
	2	P	3171.33	*2.04	1215.54	*2.06	1053.72	*2.5	10974.21	*1.52
	3	P	805.86	0.52	88.2	0.15	221.49	0.53	795.36	0.11
1997-1998	1	D	21967.29	14.16	281.61	0.48	2027.43	4.81	5660.78	0.78
	2	D	13603.9	8.77	7076.7	*11.9	7248.06	*17.2	12997.34	*1.8
	3	D	24808.1	*15.99	2562.12	4.34	7139.34	16.95	3747.84	0.52
	1	P	5415.66	3.49	1692.9	2.87	747.18	1.77	5908.99	*0.82
	2	P	14697.4	*9.47	2622.69	*4.44	7361.1	*17.47	4716.47	0.65
	3	P	3492.63	2.25	41.31	0.07	412.65	0.98	638.55	0.09
2002-2005	1	D	786.51	*0.51	188.91	0.32	1577.16	3.74	26049.48	3.6
	2	D	307.26	0.2	925.2	*1.57	5227.38	*12.41	74541.11	*10.31
	3	D	439.74	0.28	150.21	0.25	4070.52	9.66	63338.91	8.76
	1	P	329.76	0.21	235.35	0.4	1344.78	3.19	2023.35	0.28
	2	P	8508.06	*5.48	789.84	*1.34	10915.6	*25.91	15463.88	*2.14
	3	P	2975.58	1.92	77.76	0.13	2559.78	6.08	4586.08	0.63

Escenarios: (1) Umbrales propuestos por CLASlite, (2) umbrales propuestos por debajo de los valores propuestos por el software y (3) umbrales propuestos por arriba de los valores propuestos por el software. Cambio de cobertura: (D) Deforestación y (P) Perturbación. * Mayor cambio de cobertura boscosa.

Fuente: Resultados obtenidos y CONANP, 2016.

Gráfica 4. Cambios de la cobertura boscosa de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtla



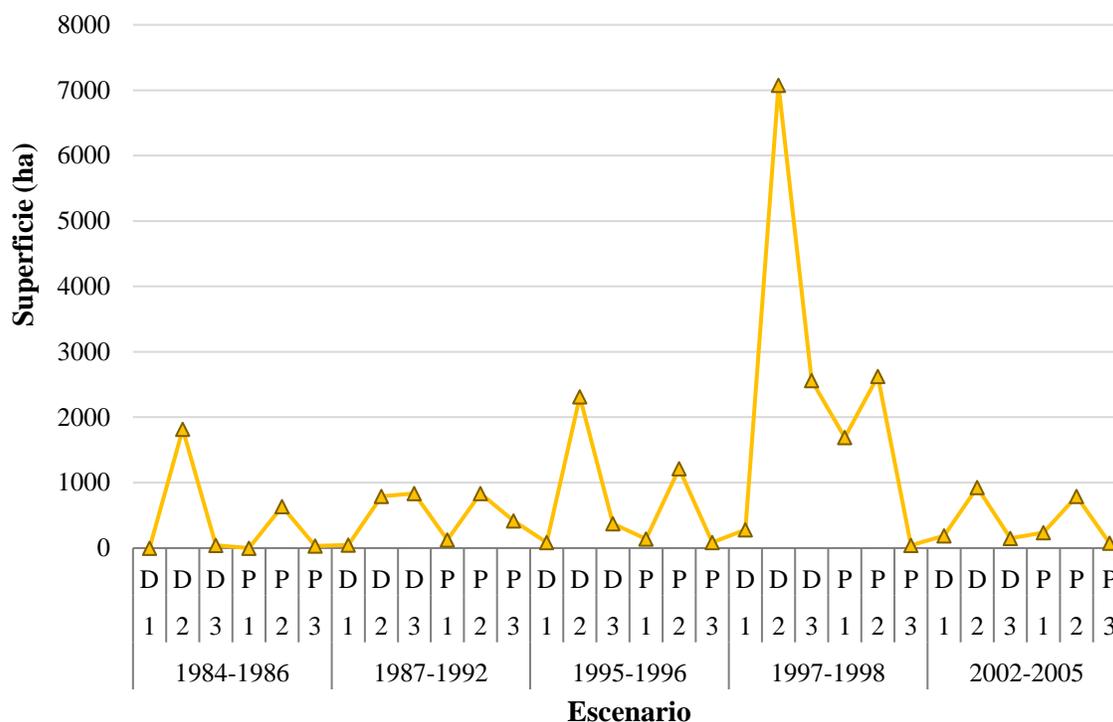
Cambio de cobertura: (D) Deforestación y (P) Perturbación.

▲ Los Tuxtlas

Fuente: Resultados obtenidos.

En la RB de los Tuxtlas se muestra una mayor de pérdida en la cobertura boscosa en el cuarto periodo, siendo más del doble que en otros periodos. Por otro lado, el quinto periodo muestra valores más bajos en la pérdida de la cobertura. Para el primer periodo, el escenario 2 (debajo de los valores propuestos por CLASlite) en deforestación y perturbación, muestra valores más altos en la pérdida de cobertura. El segundo periodo, la deforestación en el escenario 1 (valores de CLASlite) es mayor, para la perturbación el escenario 2 es el que muestra mayor pérdida, sin embargo, el escenario 1 tiene valores similares. En el periodo tres, la deforestación en el escenario 3 (arriba de los valores propuestos por CLASlite) tiene mayor pérdida, sin embargo, el escenario 3 tiene valores similares; en cuanto a la perturbación el escenario 2 muestra mayor pérdida. El periodo 4, la deforestación es mayor en el escenario 3, y en la perturbación el escenario 3 muestra mayor pérdida. Finalmente, en el periodo cinco, la deforestación es mayor en el escenario 1 y en la perturbación fue mayor en el escenario 2.

Gráfica 5. Cambios de la cobertura boscosa de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla



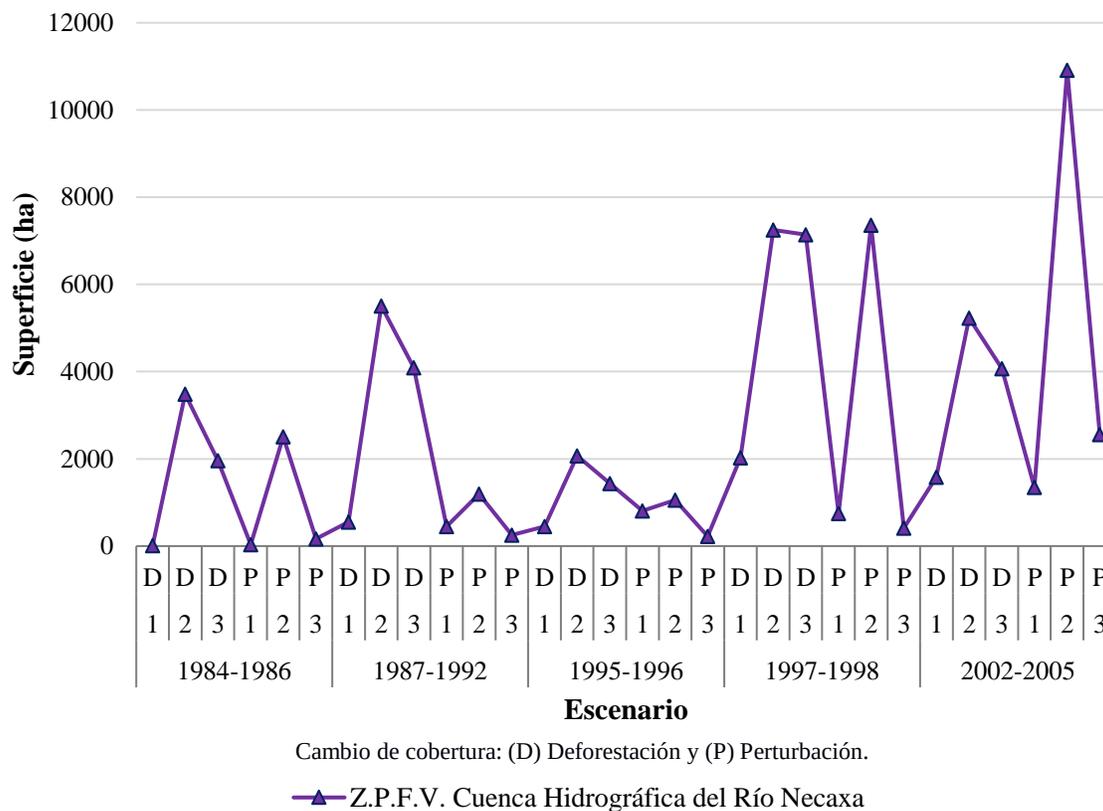
Cambio de cobertura: (D) Deforestación y (P) Perturbación.

—▲— Sierra de Huautla

Fuente: Resultados obtenidos.

La RB de Sierra de Huautla tiene mayor pérdida de cobertura vegetal en el cuarto periodo, siendo más del doble que en otros periodos. Para el primer periodo, el escenario 2 (debajo de los valores de CLASlite) muestra mayor pérdida de cobertura en deforestación y perturbación. En el segundo periodo, el escenario 3 (arriba de los valores propuestos por CLASlite) es más significativo en la deforestación y en la perturbación fue mayor en el escenario 2. En el tercer periodo, la deforestación y perturbación es mayor en el escenario 2. De igual manera, el cuarto y quinto periodo tiene mayor cambio en el escenario 2 para la deforestación y perturbación.

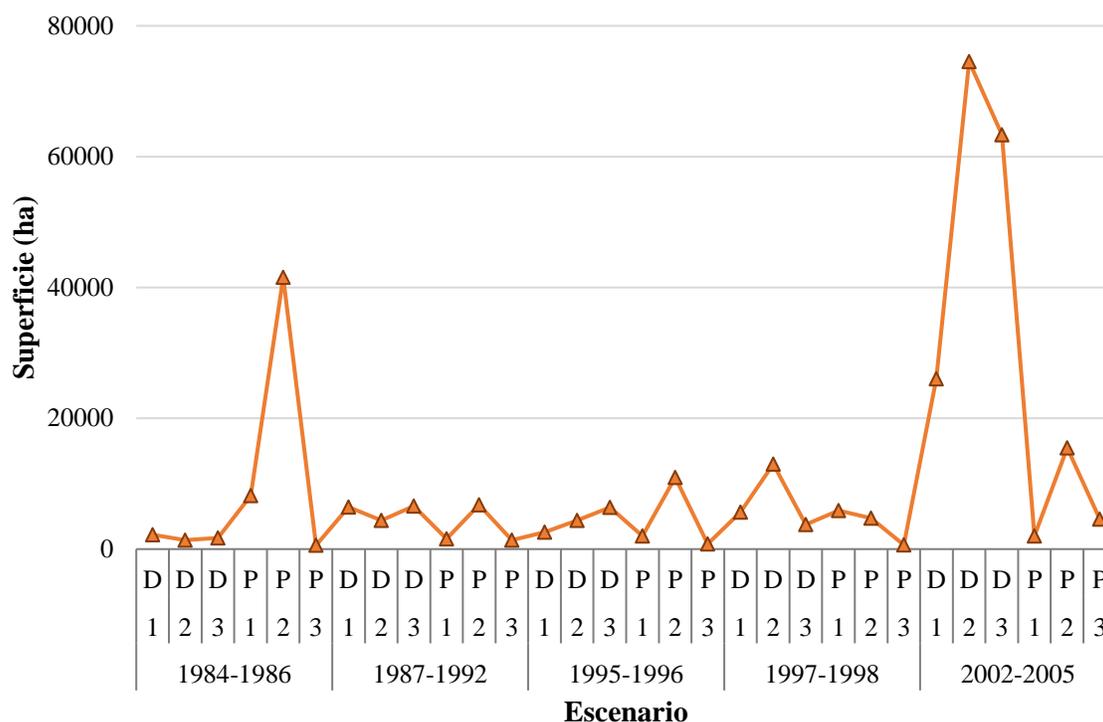
**Gráfica 6. Cambios de la cobertura boscosa de la Zona Protectora Forestal Vedada
Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa**



Fuente: Resultados obtenidos.

La APRN Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa presenta mayores cambios en la cobertura en el quinto periodo. En contraste, el tercer periodo tiene los valores más bajos de pérdida de cobertura. El primer periodo muestra valores altos en el escenario 2 (debajo de los valores de CLASlite), respecto a la deforestación y perturbación. Para el segundo periodo, el escenario 2, de igual manera, tiene más pérdida en la cobertura vegetal. El tercer periodo, en cuanto a deforestación, el escenario 2 tiene valores significativos, al igual que la perturbación. En el cuarto periodo, para deforestación y perturbación, el escenario 2 muestra valores altos en la pérdida de superficie. Finalmente, el quinto periodo tiene valores elevados en el escenario 2, para deforestación y perturbación.

Gráfica 7. Cambios de la cobertura boscosa de la Reserva de la Biosfera Calakmul



Cambio de cobertura: (D) Deforestación y (P) Perturbación.

—▲— Calakmul

Fuente: Resultados obtenidos.

La RB Calakmul tiene valores altos en el quinto periodo. Por otro lado, el primer periodo tiene los valores más bajos de pérdida de cobertura. El primer periodo tiene valores altos en el escenario 1 (valores de CLASlite) en la deforestación, mientras en escenario 2 (debajo de los valores de CLASlite) tiene valores significativos en la perturbación. Para el segundo periodo, los valores se muestran muy similares, sin embargo, la deforestación es mayor el escenario 3 (arriba de los valores propuestos por CLASlite) y en la perturbación es el escenario 2. En el tercer periodo también tiene valores semejantes, escenario 3 tiene más pérdida de deforestación, por otro lado, el escenario 2 muestra más pérdida en la perturbación. En el cuarto periodo nuevamente hay valores similares, para la deforestación y perturbación el escenario 2 muestra valores altos. Finalmente, el quinto periodo tiene valores elevados en el escenario 2, para deforestación y perturbación.

Cuadro 14. Cambio acumulado de la cobertura boscosa de los periodos establecidos en las Áreas Naturales Protegidas

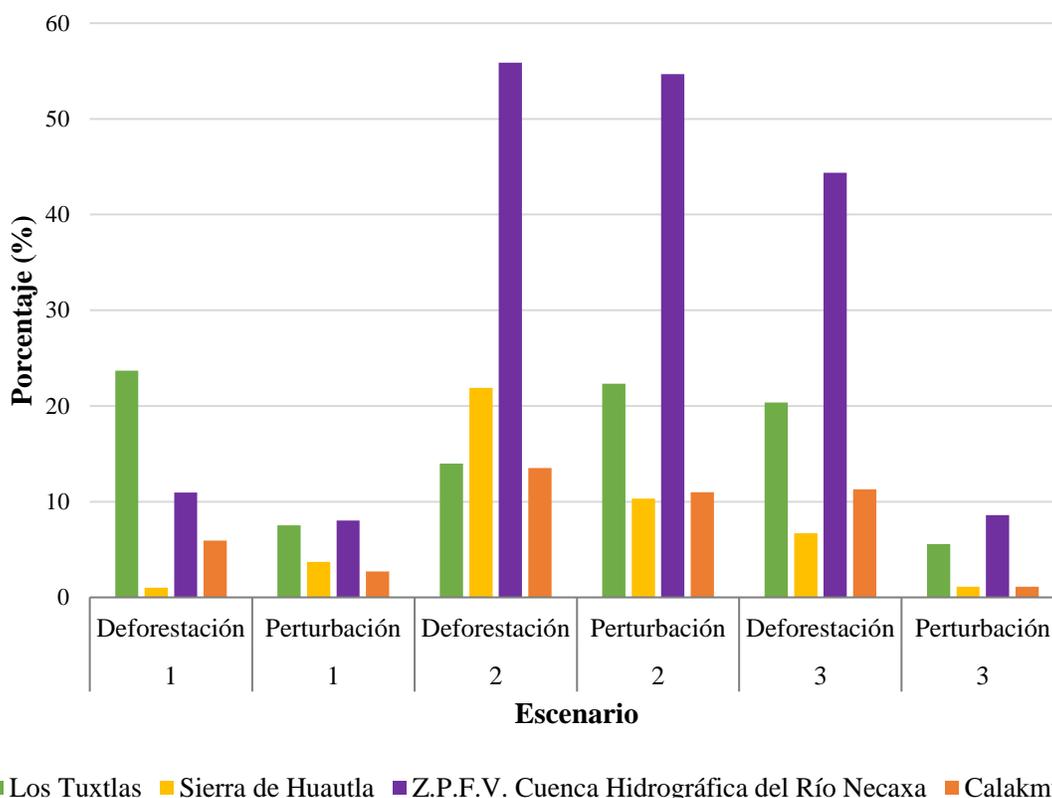
Años de colecta	Escenario	Tipo de pérdida de cobertura	Los Tuxtlas		Sierra de Huautla		Z.P.F.V. Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa		Calakmul	
			Superficie (ha)							
			155,122.46		59,030.94		42,129.35		723,185.12	
			ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
<i>Total</i>	1	D	36728.46	23.68	603.54	1.02	4615.56	10.96	2217.67	5.94
	1	P	11681.1	7.53	2190.24	3.71	3385.17	8.04	42970.96	2.73
	2	D	21671.14	13.97	12927.6	21.9	23537.61	55.87	19714.49	13.51
	2	P	34656.7	22.34	6099.39	10.33	23032.12	54.67	97711.70	10.99
	3	D	31606.7	20.38	3958.56	6.71	18692.46	44.37	79489.57	11.3
	3	P	8645.13	5.57	657	1.11	3617.01	8.59	81747.74	1.1

Cambio de cobertura: (D) Deforestación y (P) Perturbación. *Mayor cambio de cobertura boscosa.

Fuente: Resultados obtenidos.

De manera general, se obtuvo el resultado total de deforestación de cada ANP con la suma de los cinco periodos, con el fin de conocer cuál fue el cambio de cobertura boscosa acumulado. Las cuatro ANP se muestra una mayor pérdida en la cobertura es el escenario 2 para los cinco periodos, sin embargo, no es un cambio muy drástico en comparación del escenario 1 y 3 (Cuadro 14).

Gráfica 8. Porcentaje de cambio de cobertura boscosa acumulado respecto a la superficie total de los periodos establecidos

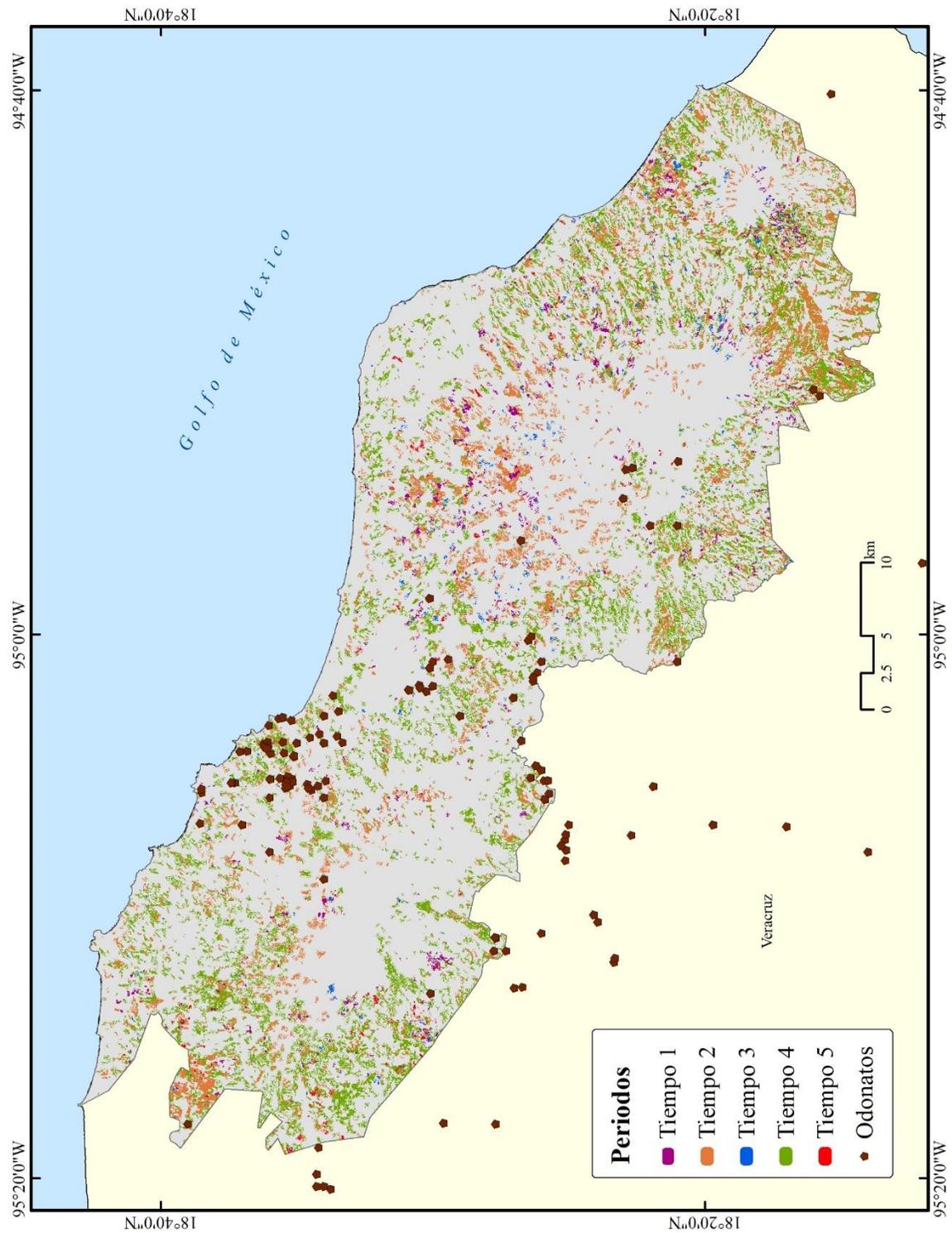


Fuente: Resultados obtenidos.

La Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa muestra valores más significativos de 56% de pérdida respecto a la superficie total en el escenario 2, lo que podría mostrar que cualquier posible cambio en el territorio afecta significativamente en la cobertura boscosa (Gráfica 8 y Cuadro 14). De igual forma la Reserva de los Tuxtla tiene valores importantes de 24% en los tres escenarios, seguido de la Reserva de la Sierra de Huautla con 22% en el escenario 2 y finalmente la Reserva de Calakmul con 13% también en el escenario 2.

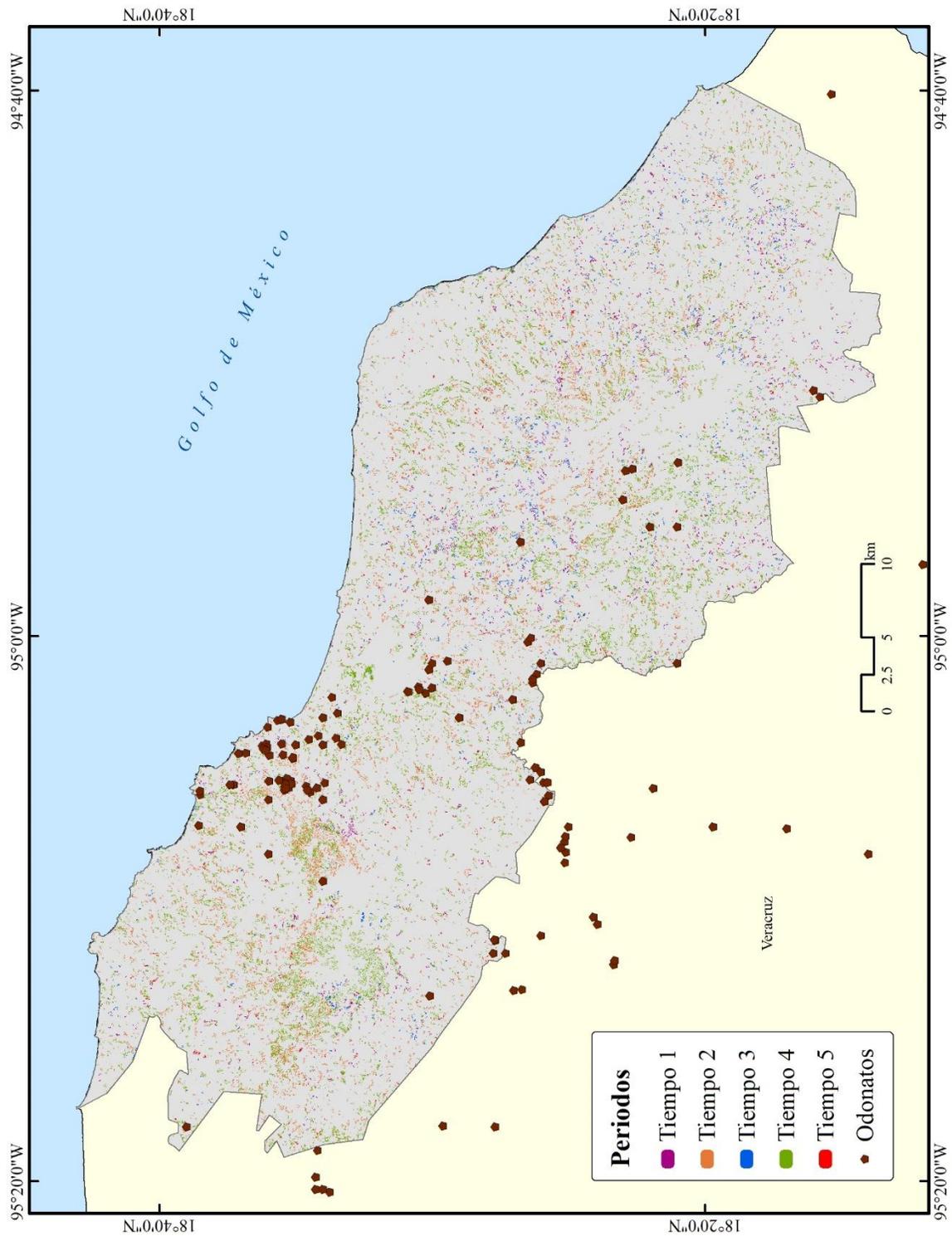
A continuación, se muestran la deforestación y perturbación de cada periodo de los cinco periodos: Tiempo 1 (1984-1986), Tiempo 2 (1987-1992), Tiempo 3 (1995-1996), Tiempo 4 (1997-1998) y Tiempo 5 (2002-2005); de las cuatro ANP con mayor riqueza respecto a los tres umbrales establecidos:

Mapa 10. Deforestación según umbrales propuestos por CLASlite en Reserva de la Biosfera Los Tuxtlá



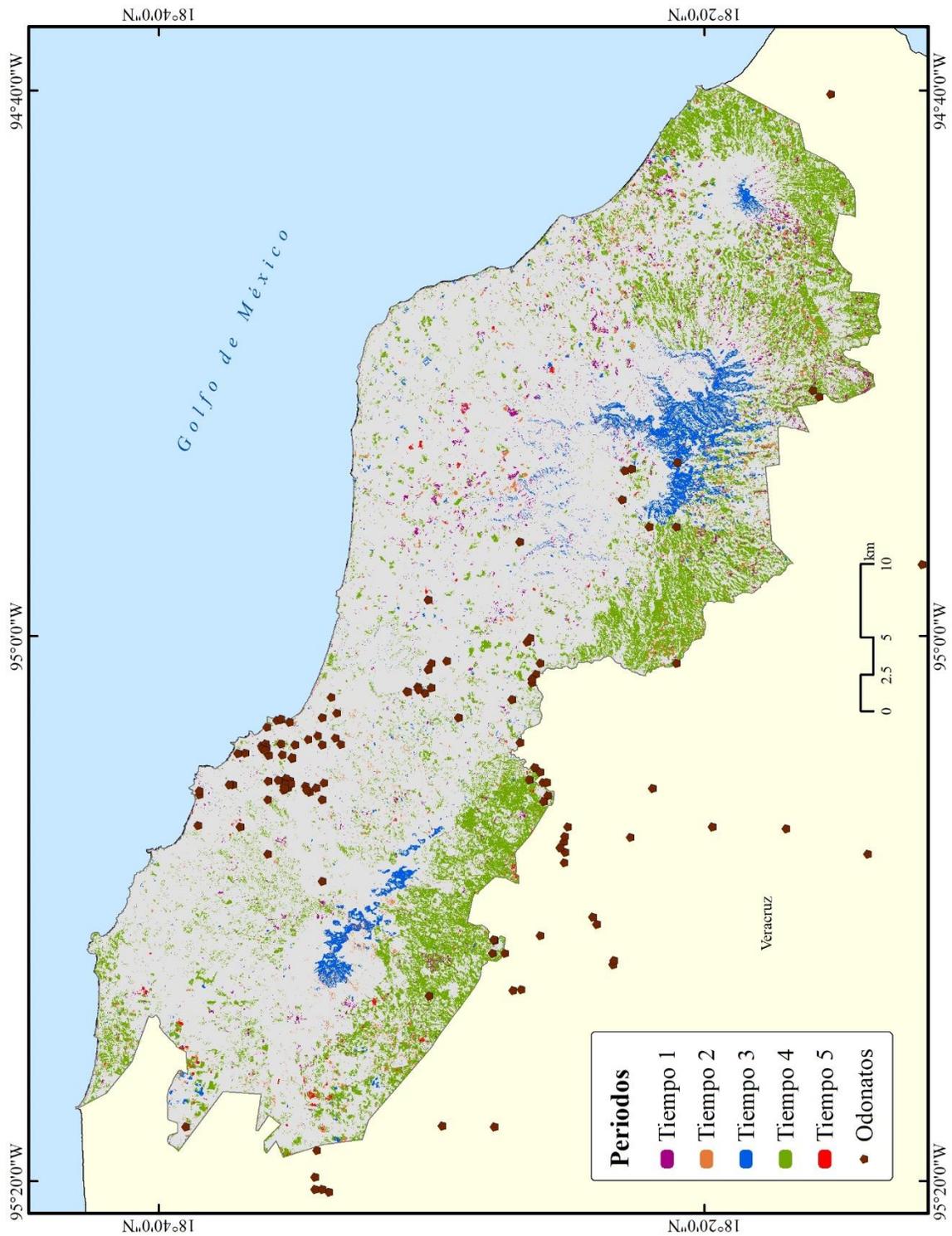
Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 11. Perturbación según umbrales propuestos por CLASlite en Reserva de la Biosfera Los Tuxtlá



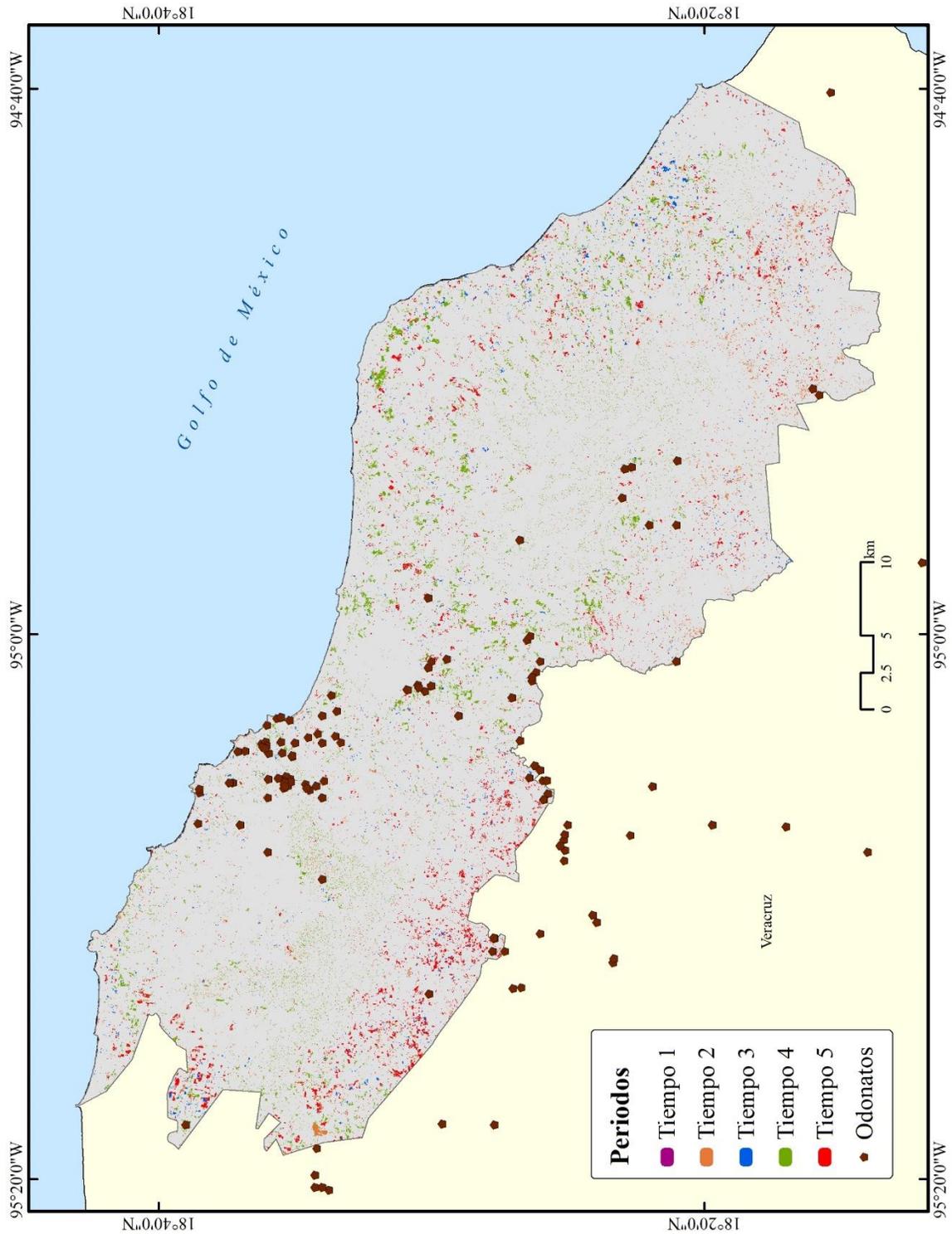
Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 12. Deforestación según umbrales por debajo de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Los Tuxtlá



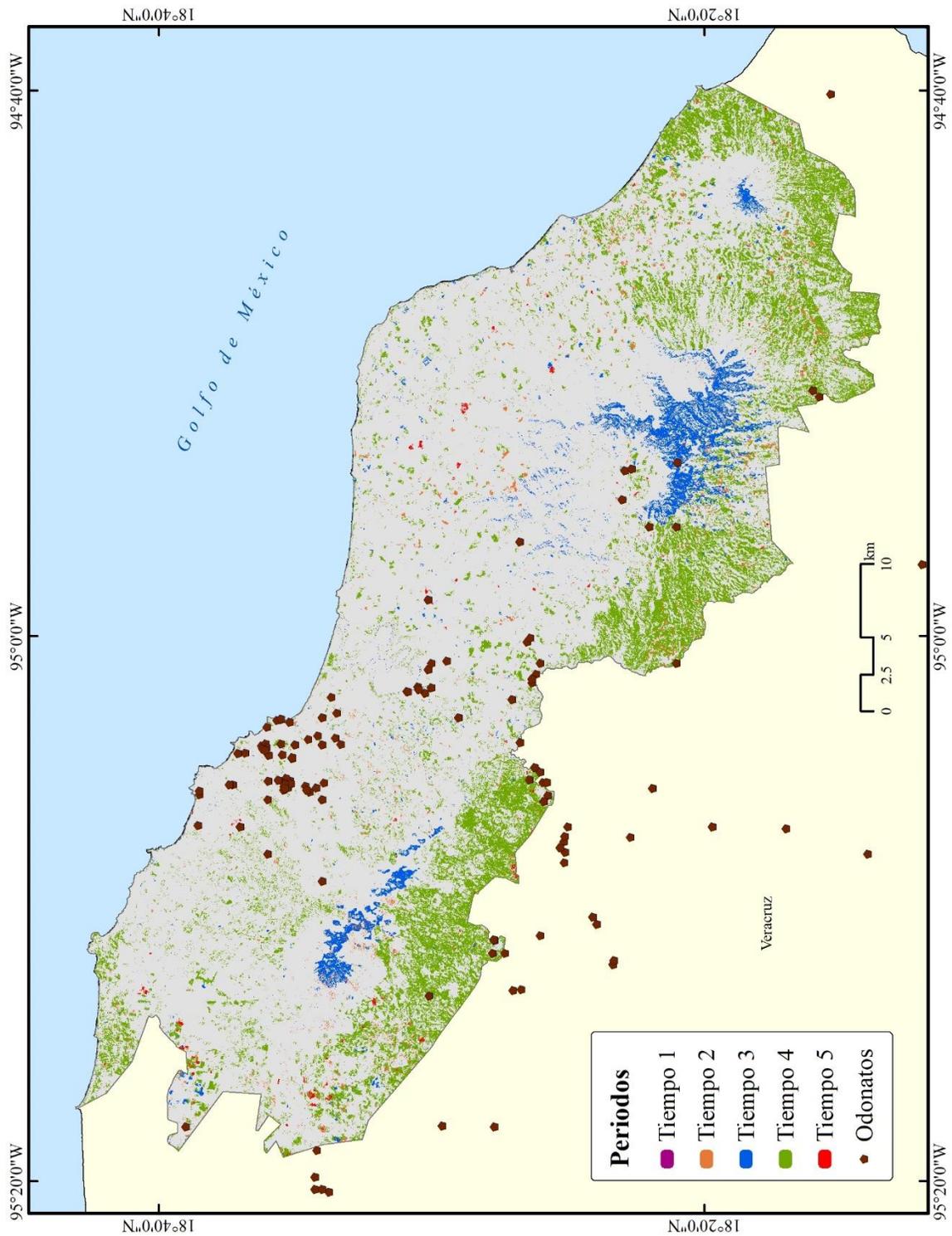
Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 13. Perturbación según umbrales por debajo de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Los Tuxtlá



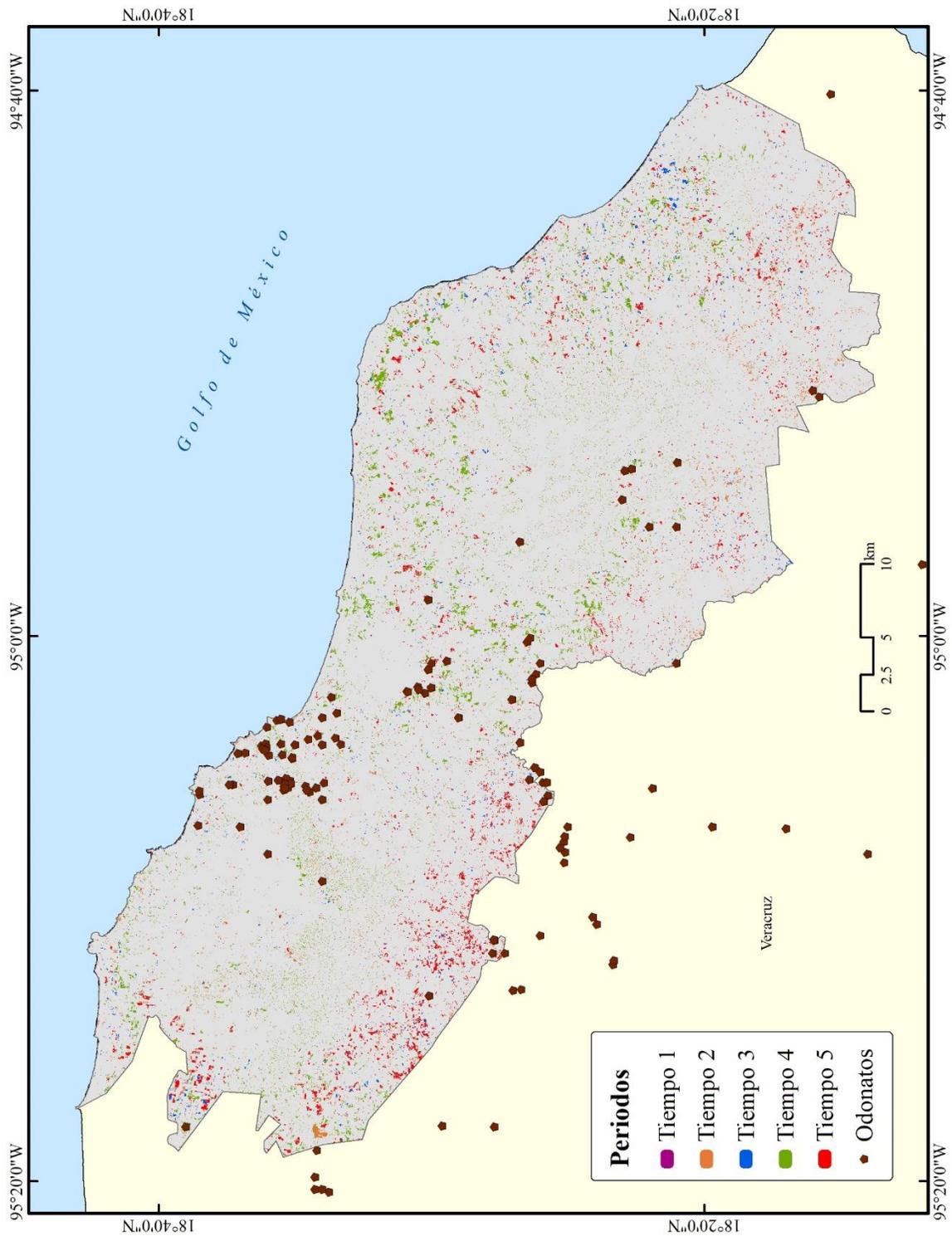
Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 14. Deforestación según umbrales por arriba de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Los Tuxtlá



Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 15. Perturbación según umbrales por arriba de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas



Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

En la RB Los Tuxtla, el mapa de deforestación según los umbrales propuestos por CLASlite (Mapa 10) muestra que la mayor pérdida está alrededor de las ZN, es decir, en el perímetro de toda el área por lo que se ve gran parte de la Reserva afectada. También, el cuarto periodo tiene mayor pérdida, además se observa que los registros de odonatos se encuentran en la zona deforestada.

En el mapa de perturbación según los umbrales propuestos por CLASlite (Mapa 11) se observa que toda la zona es afectada, se ven pequeñas aglomeraciones en la parte central de la Reserva, que corresponden a la ZN. Asimismo, el cuarto periodo tiene mayor pérdida de la cobertura boscosa.

Por otro lado, el mapa de deforestación según los umbrales por debajo de los establecidos por CLASlite (Mapa 12) muestra que la parte sur, sureste y este de la Reserva tiene mayor deforestación, principalmente el cuarto periodo. Además, son pocos registros de odonatos que se encuentran en el área deforestada.

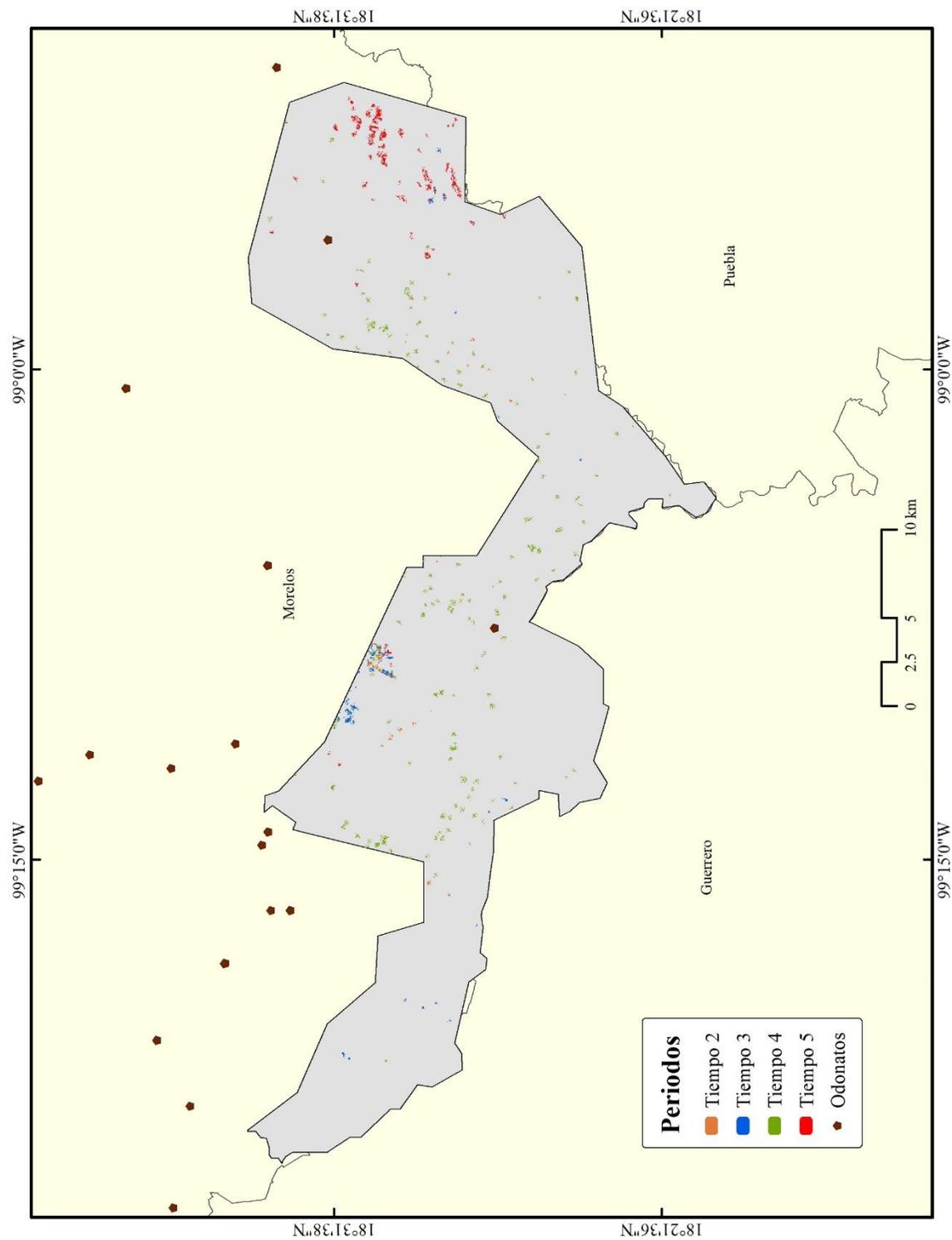
En cuanto a el mapa de perturbación según los umbrales por debajo de los establecidos por CLASlite (Mapa 13) se percibe que toda el área tiene una pérdida, sin embargo, se concentra al suroeste y una parte oeste de la Reserva. También se observa que los registros de odonatos se encuentran en la zona perturbada.

Para el mapa de deforestación según los valores arriba de los propuestos por CLASlite (Mapa 14), la pérdida de cobertura boscosa se aglomera en la parte sur, sureste y este de la Reserva, destacando el cuarto periodo con un valor más alto. También se observa un pequeño parche de deforestación en la parte noroeste.

Se observa en el mapa de perturbación según los valores arriba de los propuestos por CLASlite (Mapa 15), que se encuentra en mayor medida alrededor de la ZN, además con una concentración en la parte suroeste. El cuarto periodo tiene más pérdida por perturbación.

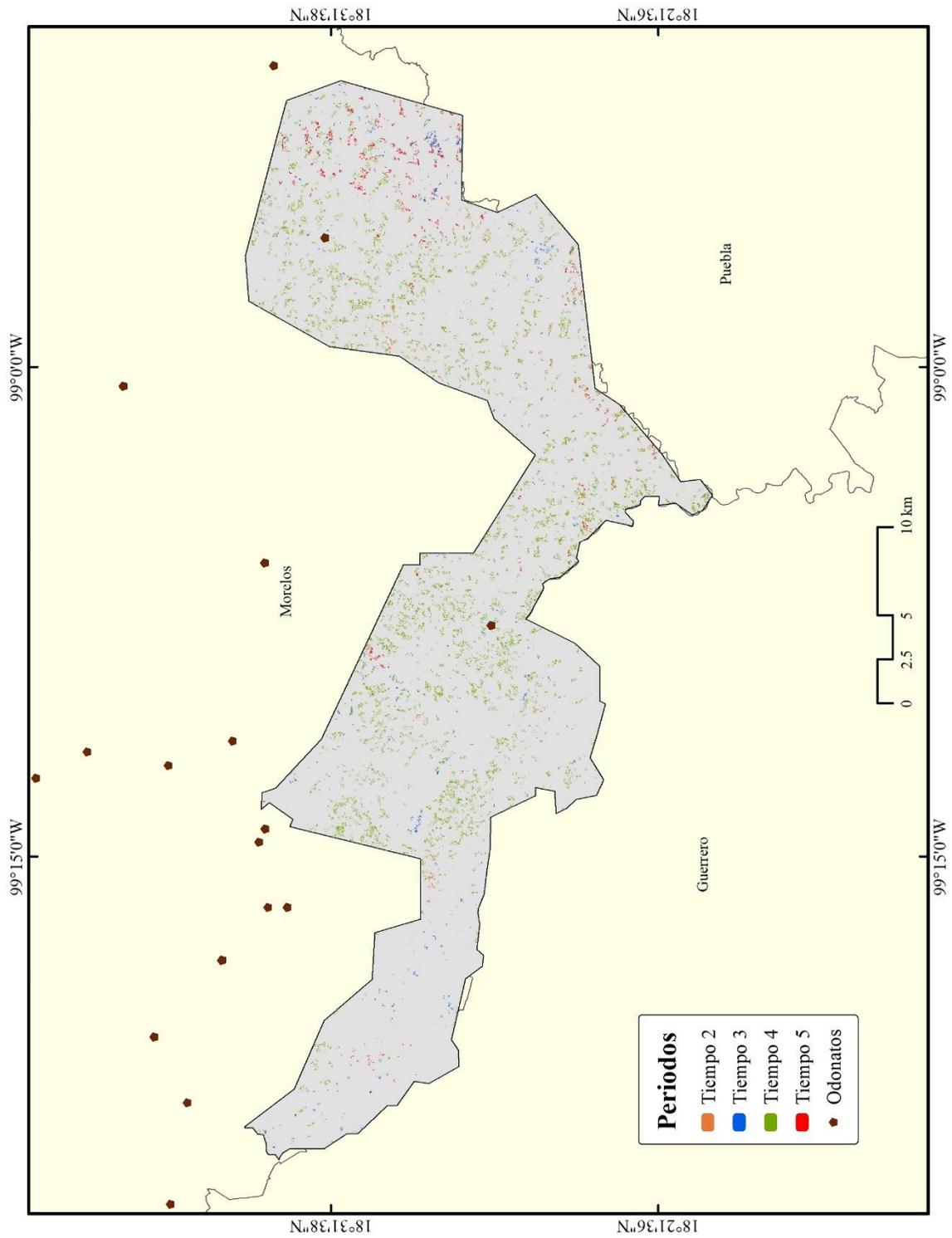
Finalmente, usando los tres escenarios la tendencia de cambio en la cobertura boscosa se muestra especialmente al sur de la Reserva, posiblemente por la presión a causa de las actividades antrópicas en los límites del área.

Mapa 16. Deforestación según umbrales propuestos por CLASlite en Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla



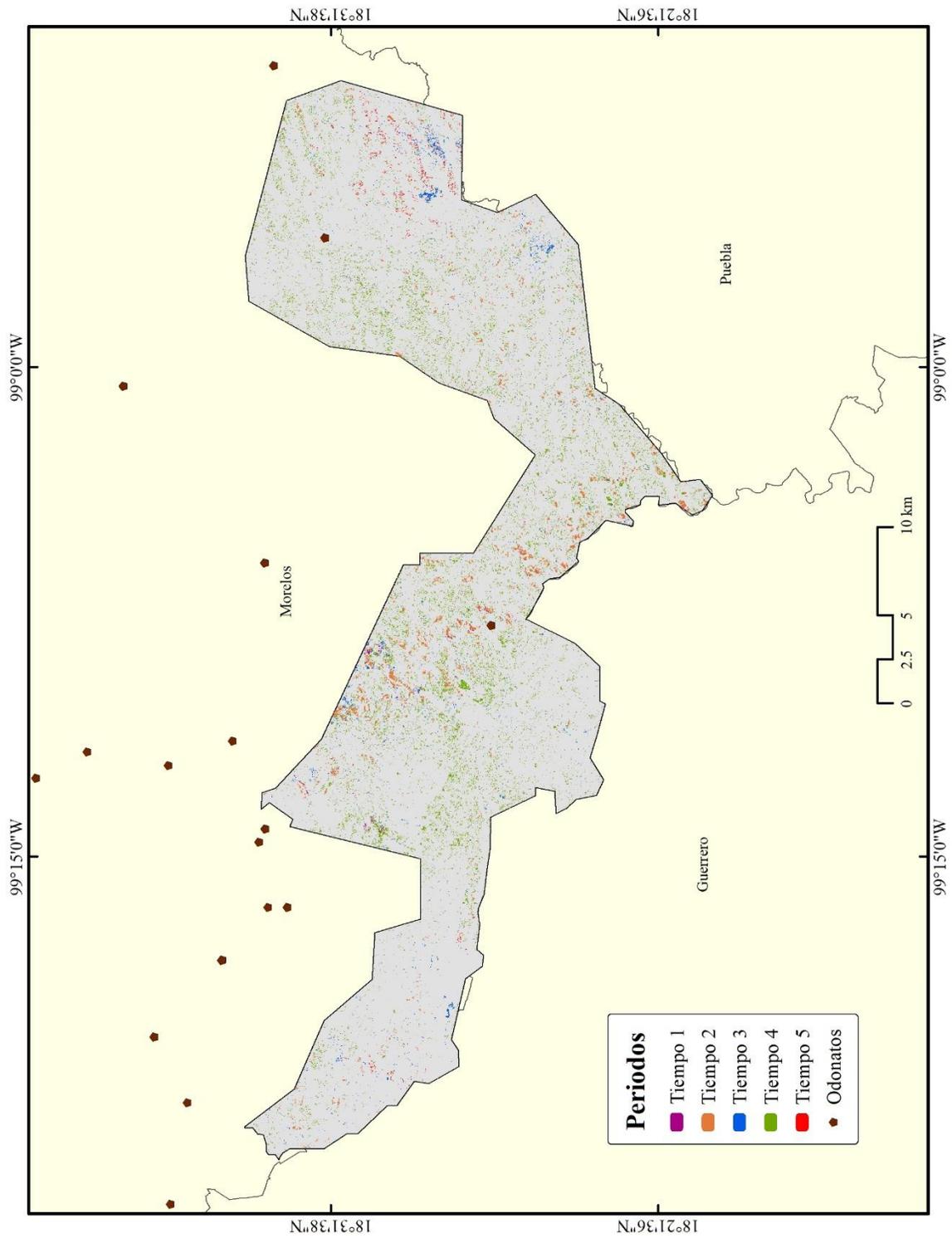
Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 17. Perturbación según umbrales propuestos por CLASlite en Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla



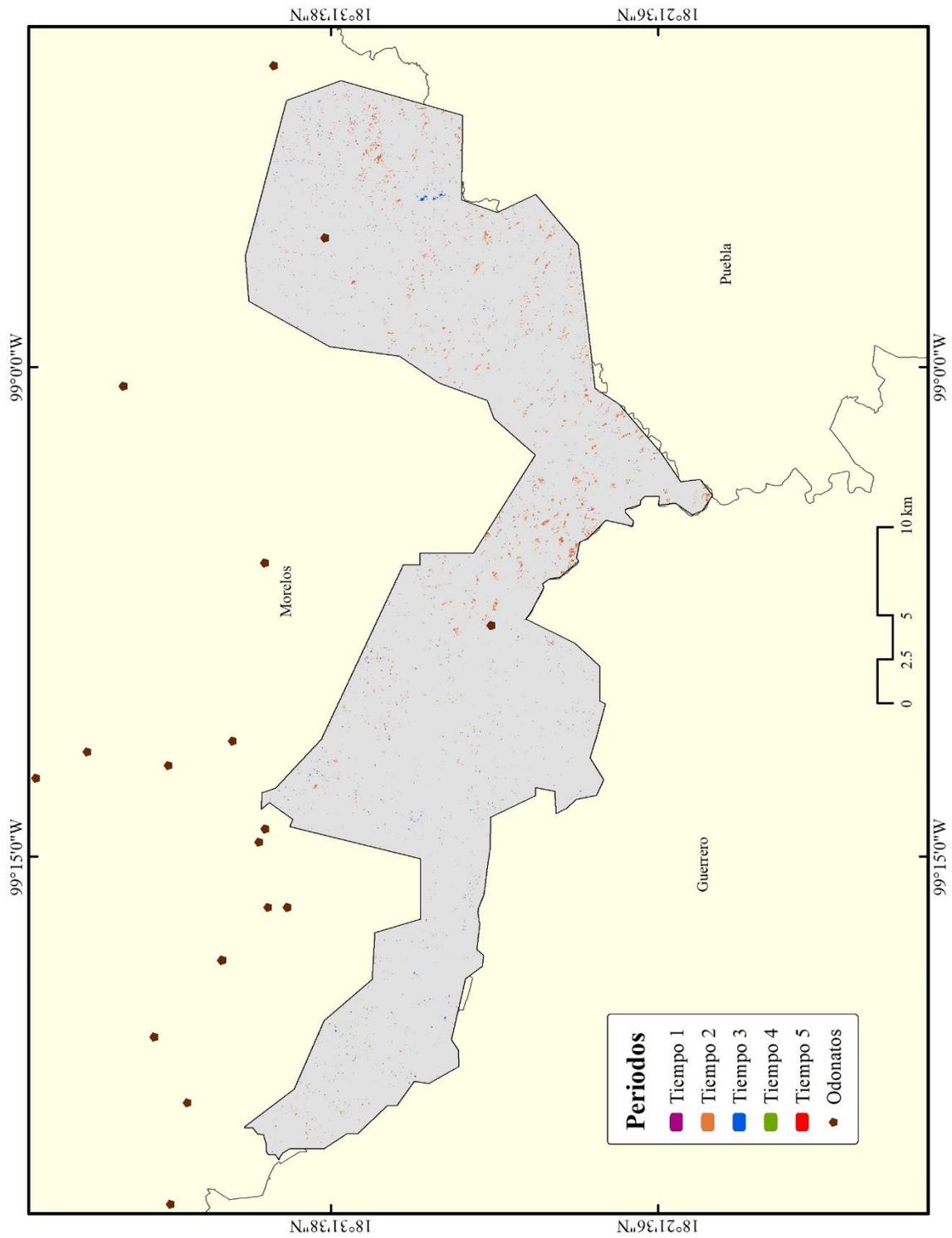
Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 18. Deforestación según umbrales por debajo de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla



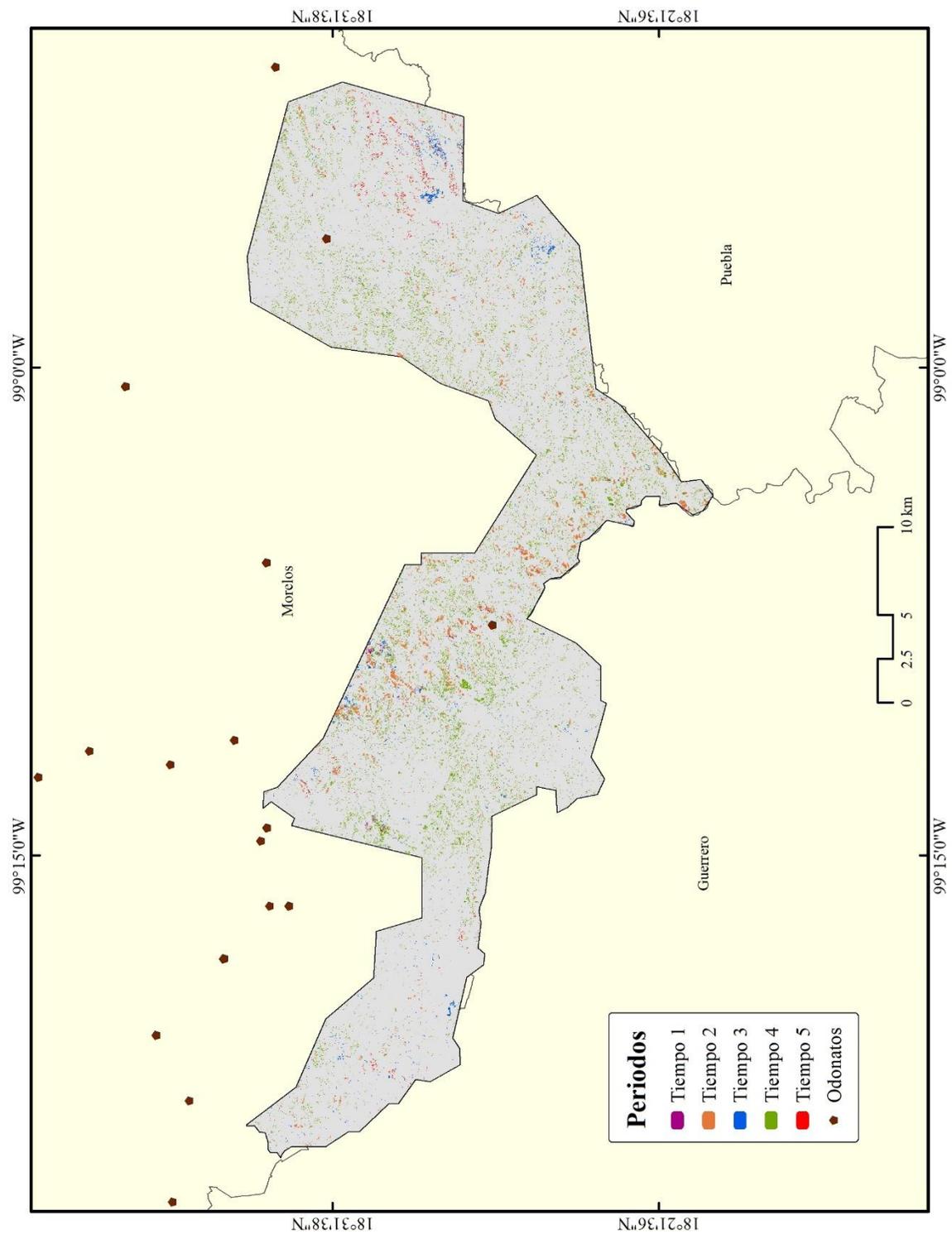
Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 19. Perturbación según umbrales por debajo de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla



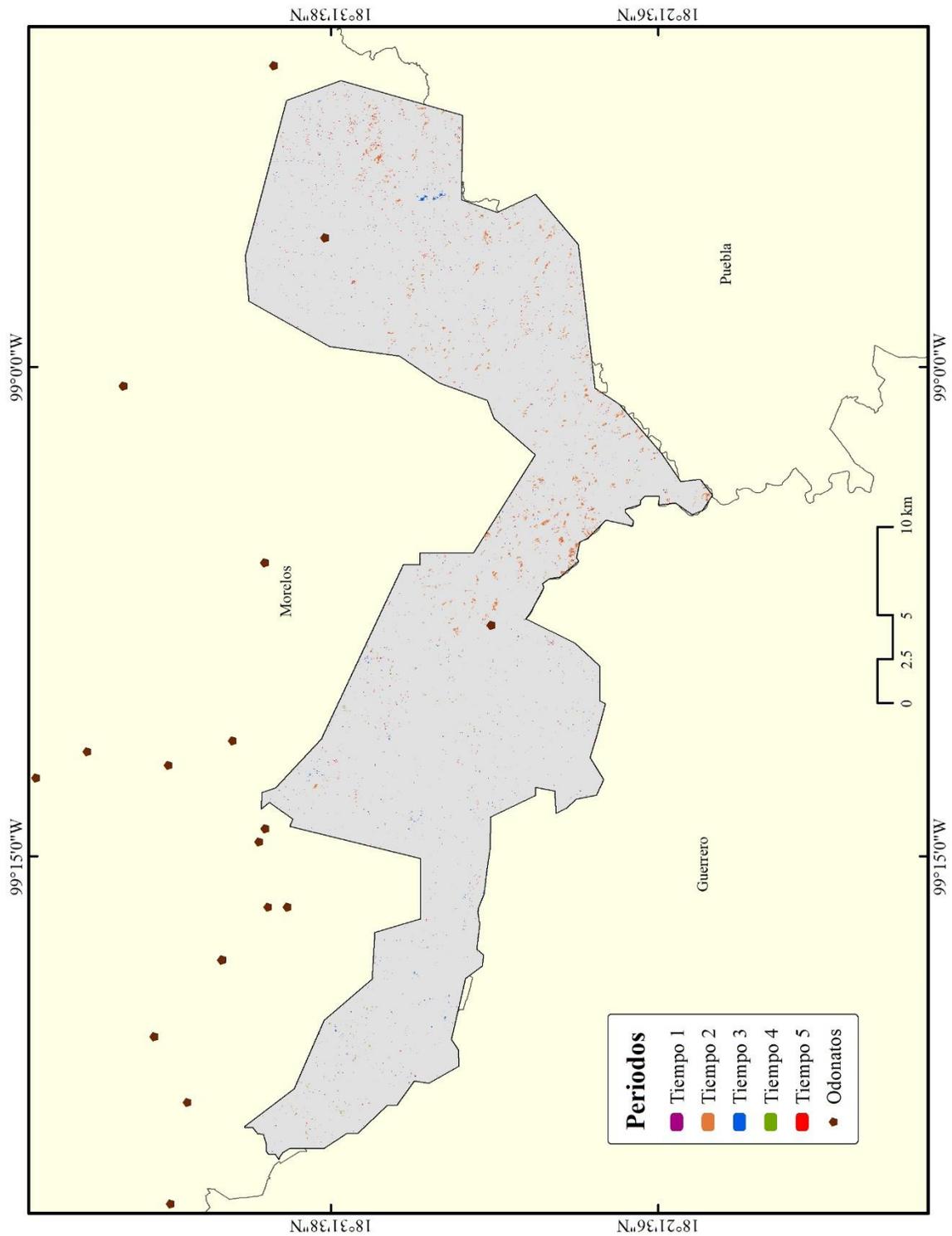
Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 20. Deforestación según umbrales por arriba de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla



Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 21. Perturbación según umbrales por arriba de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla



Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

El mapa de deforestación de la RB Sierra de Huautla según los valores propuestos por CLASlite (Mapa 16) muestra poca pérdida, sin embargo, en la parte este de la zona hay una pequeña área deforestada. Cabe mencionar, que el cuarto periodo de tiempo es el que tiene más pérdida. También se observa que los registros de los odonatos no se encuentran en la zona deforestada.

Por otro lado, se observa en el mapa de perturbación según los umbrales propuestos por CLASlite (Mapa 17) la distribución es homogénea en toda el área, y el cuarto periodo presenta mayor pérdida de la cobertura. Los registros de los odonatos se encuentran en la zona perturbada.

Para el mapa de deforestación con los umbrales por debajo de los establecidos por CLASlite (Mapa 18) se percibe también de manera homogénea por toda la Reserva, y el cuarto periodo tiene valores alto de deforestación. De igual forma los registros de odonatos se encuentran en la zona con pérdida de cobertura.

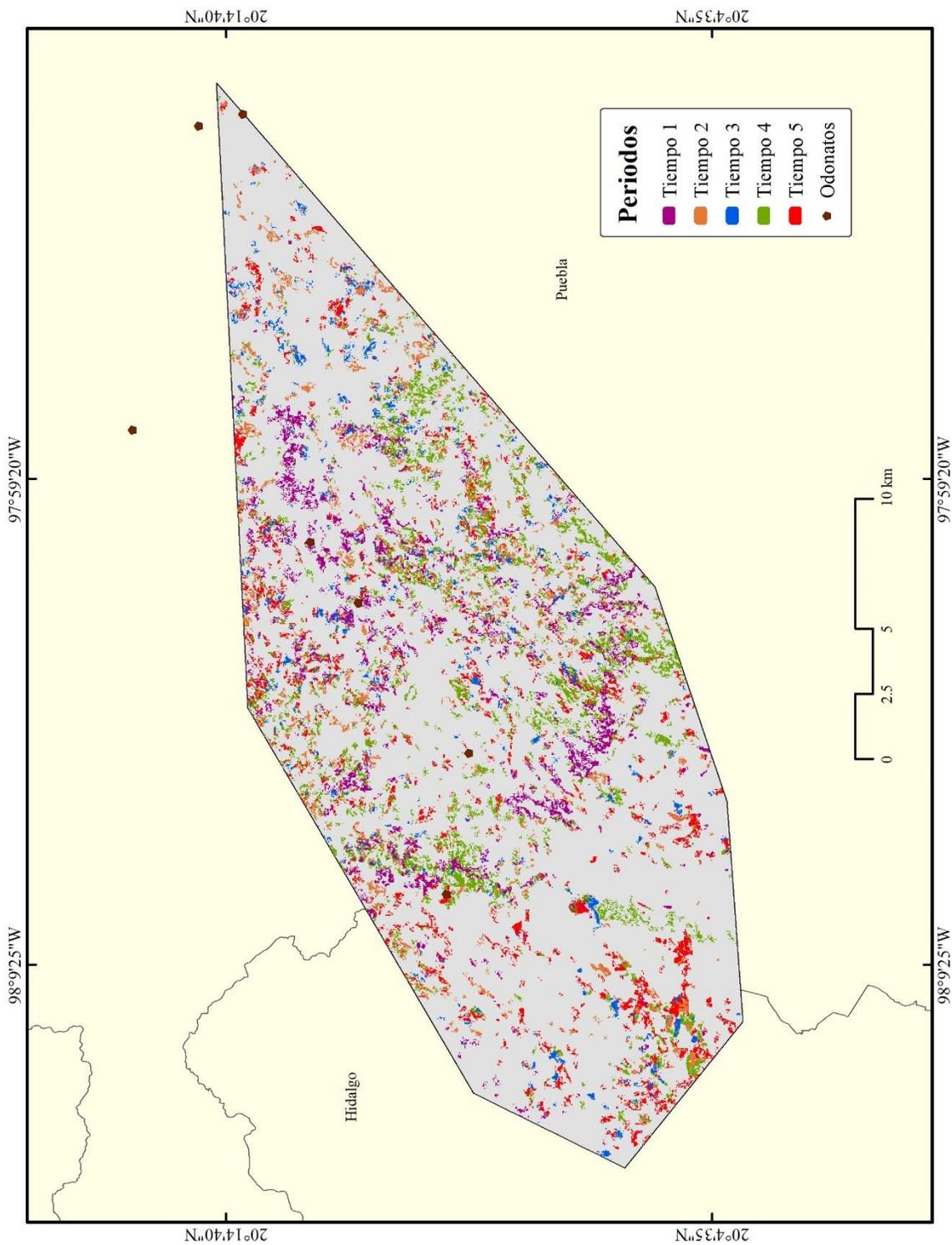
Por otra parte, el mapa de perturbación según los umbrales por debajo de los establecidos por CLASlite (Mapa 19) muestra poca pérdida, no obstante, la parte este de la Reserva concentra principalmente la perturbación en la cobertura boscosa. Asimismo, los registros de odonatos se encuentran en las zonas con pérdida.

En el mapa de deforestación según los valores arriba de los propuestos por CLASlite (Mapa 20) se observa que la superficie deforestada se concentra en la parte central y este de la zona. De igual forma, el cuarto periodo tiene mayor cambio en la cobertura. Los registros de odonatos se encuentran en la zona deforestada.

Se observa en el mapa de perturbación según los valores arriba de los propuestos por CLASlite (Mapa 21) que se concentra la pérdida de superficie principalmente en la parte este de la Reserva. Asimismo, el cuarto periodo tiene más pérdida por perturbación.

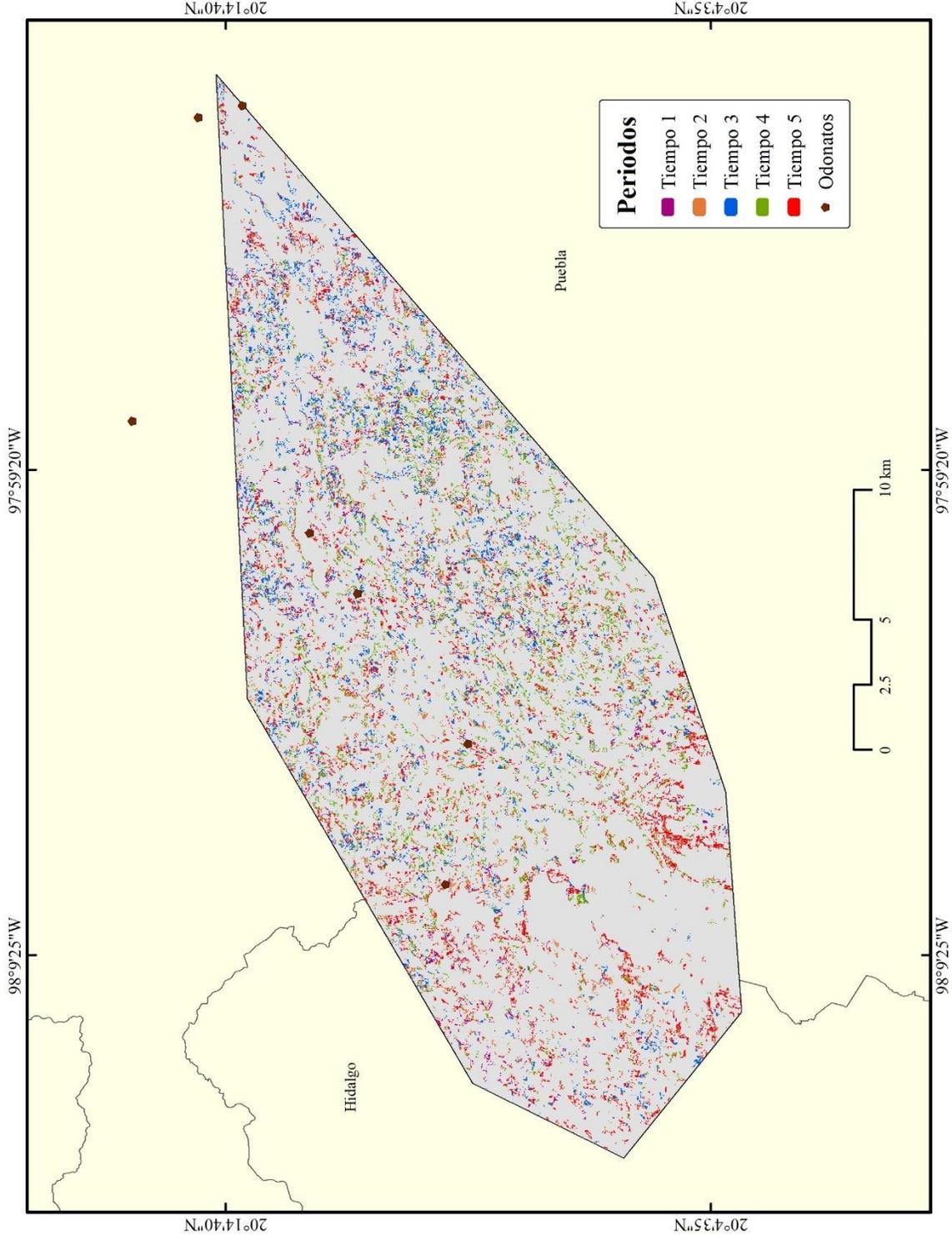
Finalmente, observando los tres escenarios de manera general la deforestación abarca toda la Reserva homogéneamente, y para la perturbación se concentra en mayor medida al este de la zona, aunque sean pocos los parches perturbados.

Mapa 22. Deforestación según umbrales propuestos por CLASlite en Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa



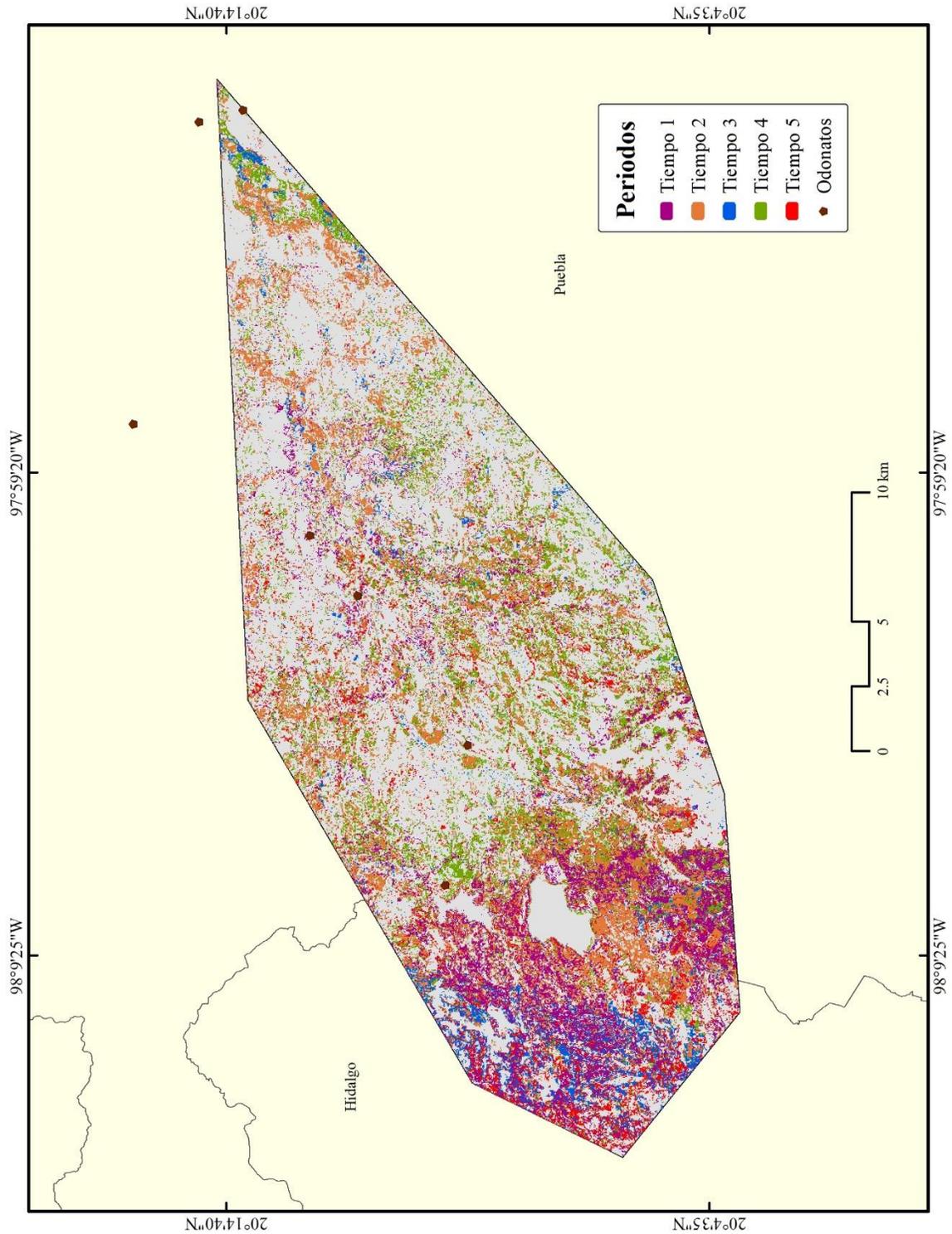
Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 23. Perturbación según umbrales propuestos por CLASlite en Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa



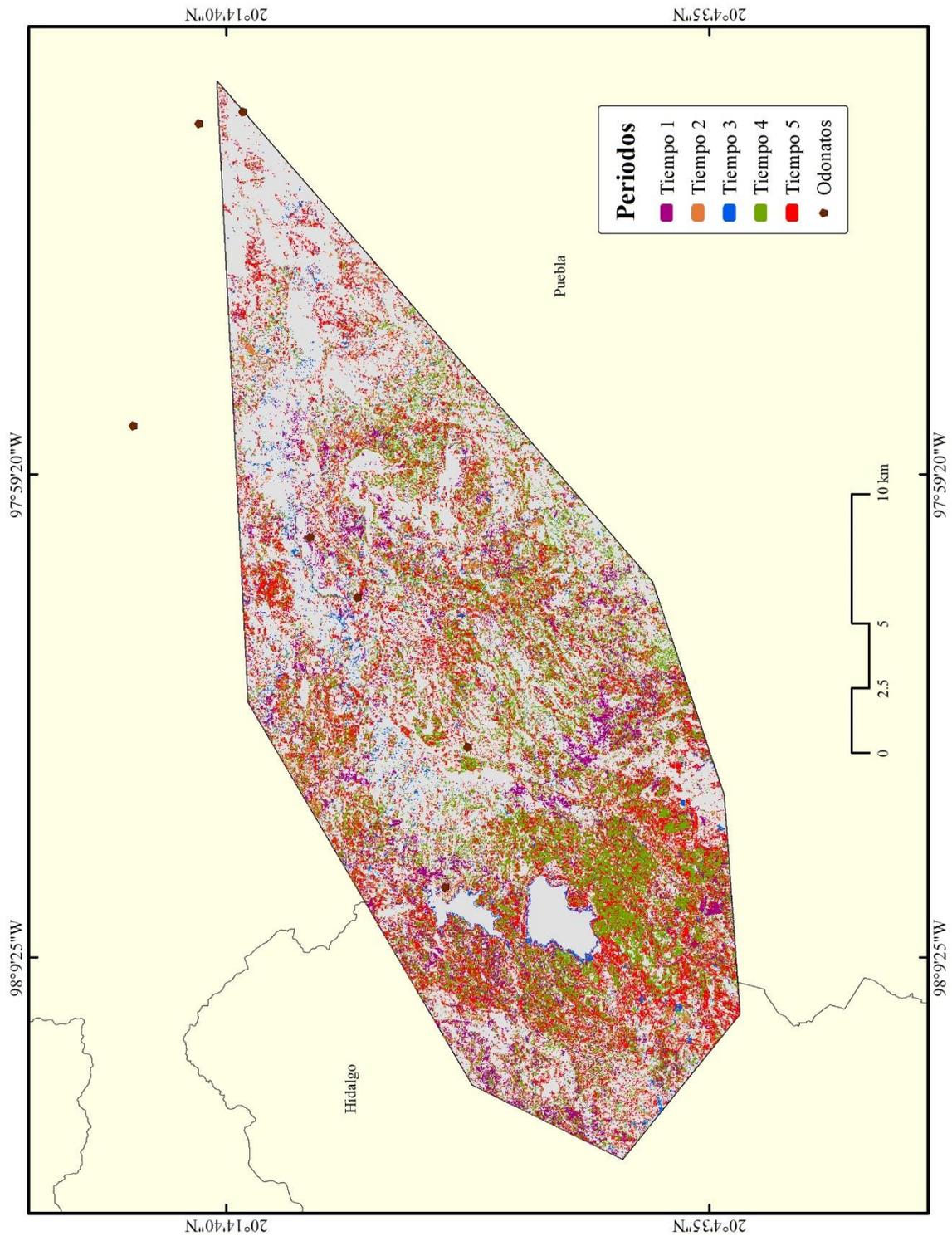
Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 24. Deforestación según umbrales por debajo de los valores de CLASlite en Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa



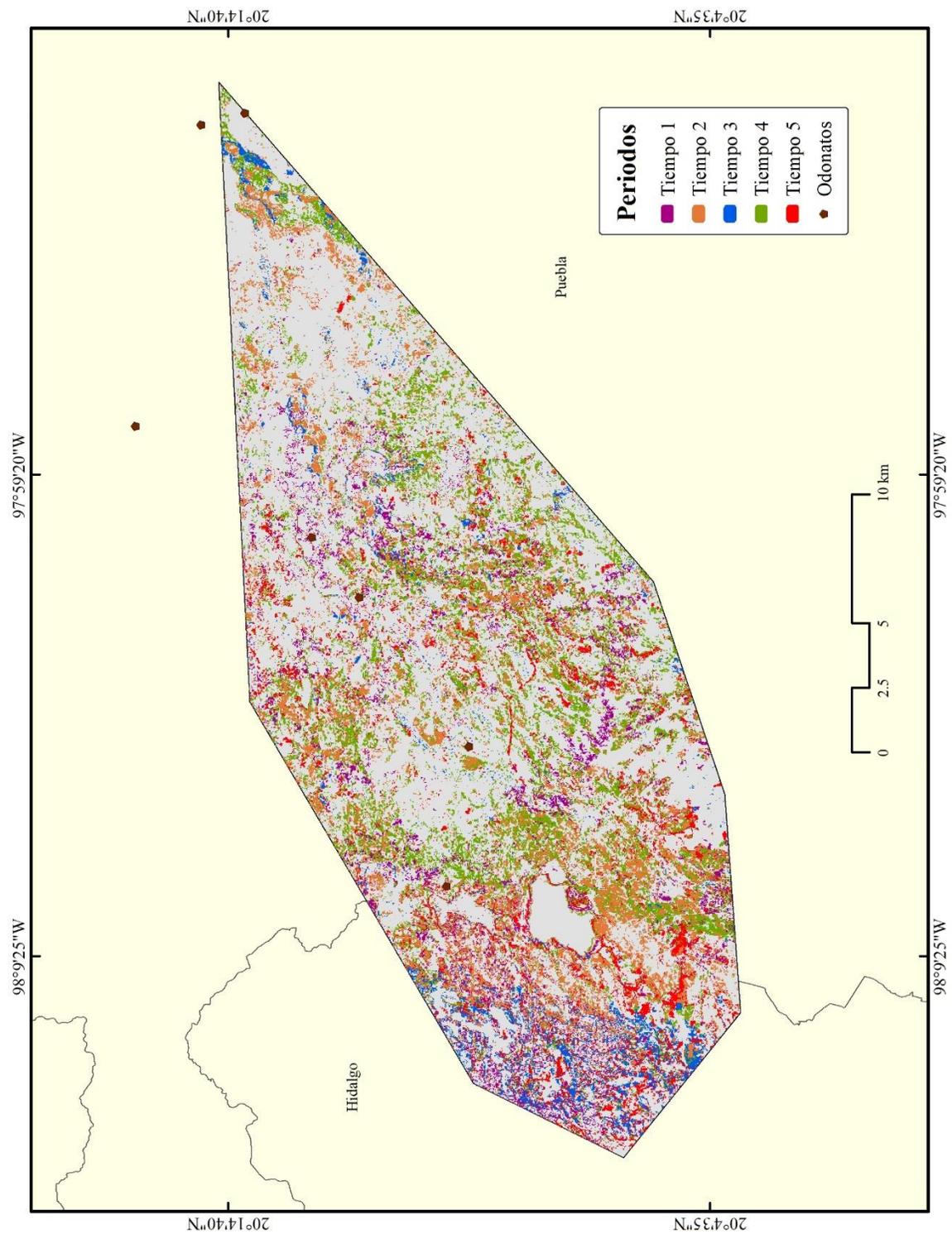
Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 25. Perturbación según umbrales por debajo de los valores de CLASlite en Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa



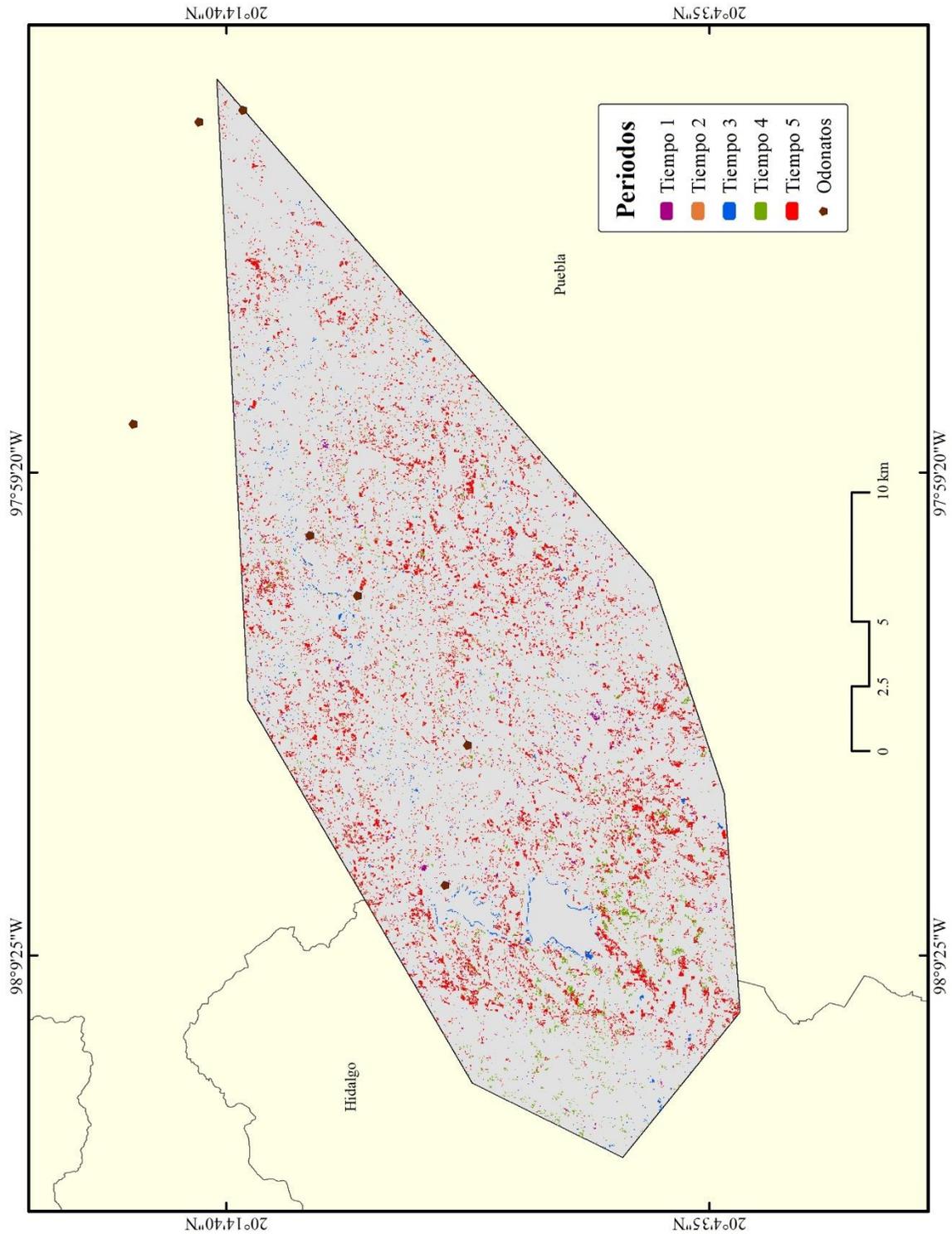
Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 26. Deforestación según umbrales por arriba de los valores de CLASlite en Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa



Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 27. Perturbación según umbrales por arriba de los valores de CLASlite en Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa



Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

En el mapa de deforestación según los umbrales propuestos por CLASlite la APNR de la Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa (Mapa 22) muestra que la pérdida es homogénea en toda el área, sin embargo, es más notable en la parte central. Además, se observa que los registros de odonatos se encuentran en la zona deforestada. El cuarto periodo tiene mayor pérdida de la cobertura boscosa.

De la misma forma, se observa en el mapa de perturbación según los umbrales propuestos por CLASlite (Mapa 23) que la pérdida se presenta en toda la APNR. El quinto periodo es el que tiene mayor pérdida de la cobertura boscosa. También, los registros de odonatos se encuentran en la zona perturbada.

Por otro lado, el mapa de deforestación según los umbrales por debajo de los establecidos por CLASlite (Mapa 24) muestra que toda el área tiene pérdida de la cobertura boscosa, principalmente se concentra en la parte suroeste y es mayor en el cuarto periodo. Los registros de odonatos se encuentran en la zona deforestada.

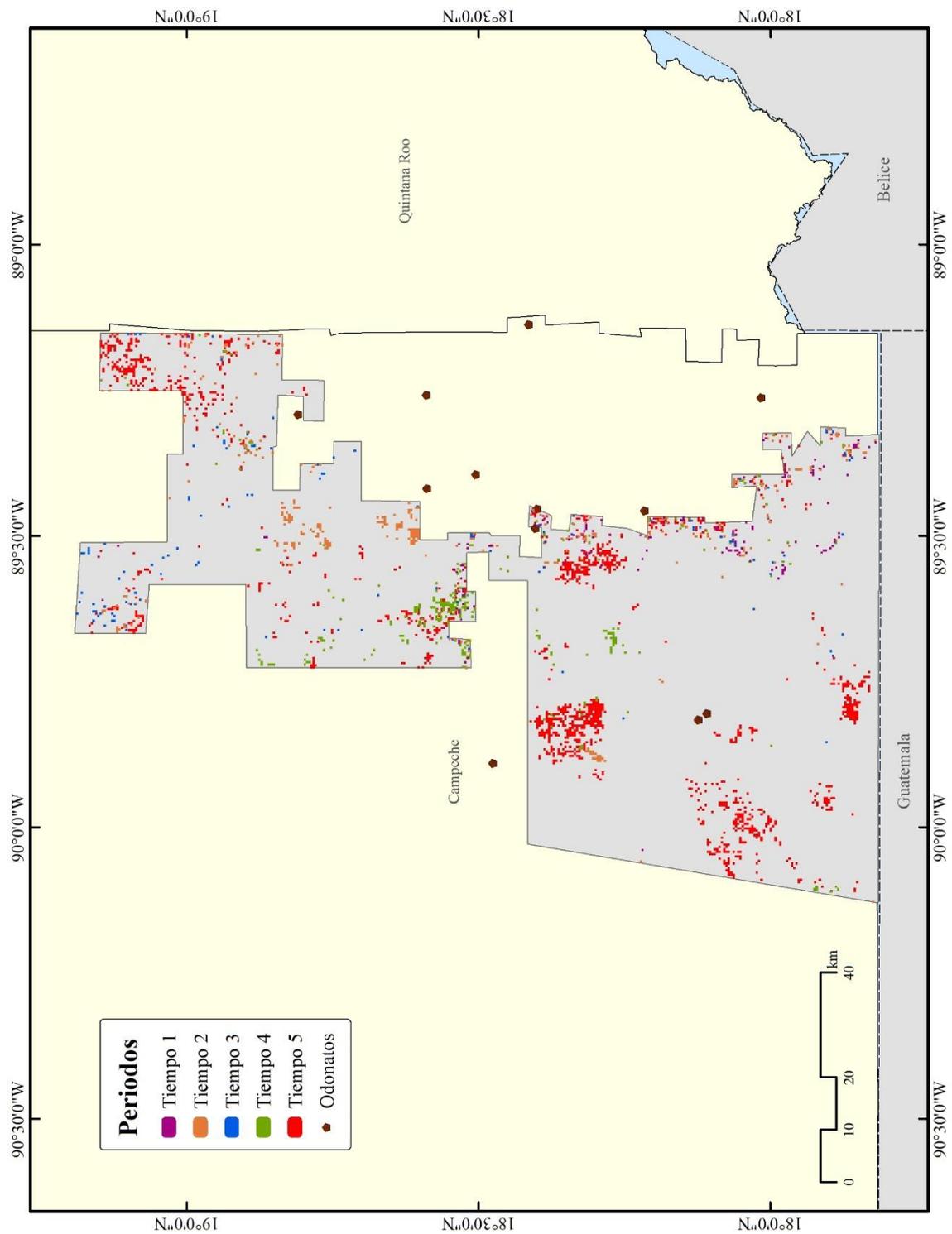
En cuanto a el mapa de perturbación según los umbrales por debajo de los establecidos por CLASlite (Mapa 25) se percibe que toda el área tiene una pérdida considerable, mayormente en la parte suroeste del área. El quinto periodo es el que tiene mayor pérdida de cobertura boscosa. De igual forma, los registros de odonatos se encuentran en la zona con pérdida.

Para el mapa de deforestación según los valores arriba de los propuestos por CLASlite (Mapa 26), la pérdida de cobertura boscosa se aglomera en la parte suroeste, destacando el cuarto periodo con el valor más alto. Los registros de odonatos se encuentran en la zona con pérdida.

Se observa en el mapa de perturbación según los valores arriba de los propuestos por CLASlite (Mapa 27), que toda la APRN tiene pérdida de cobertura boscosa de manera homogénea. El quinto periodo tiene más pérdida por perturbación. Asimismo, los registros de odonatos se encuentran en la zona perturbada.

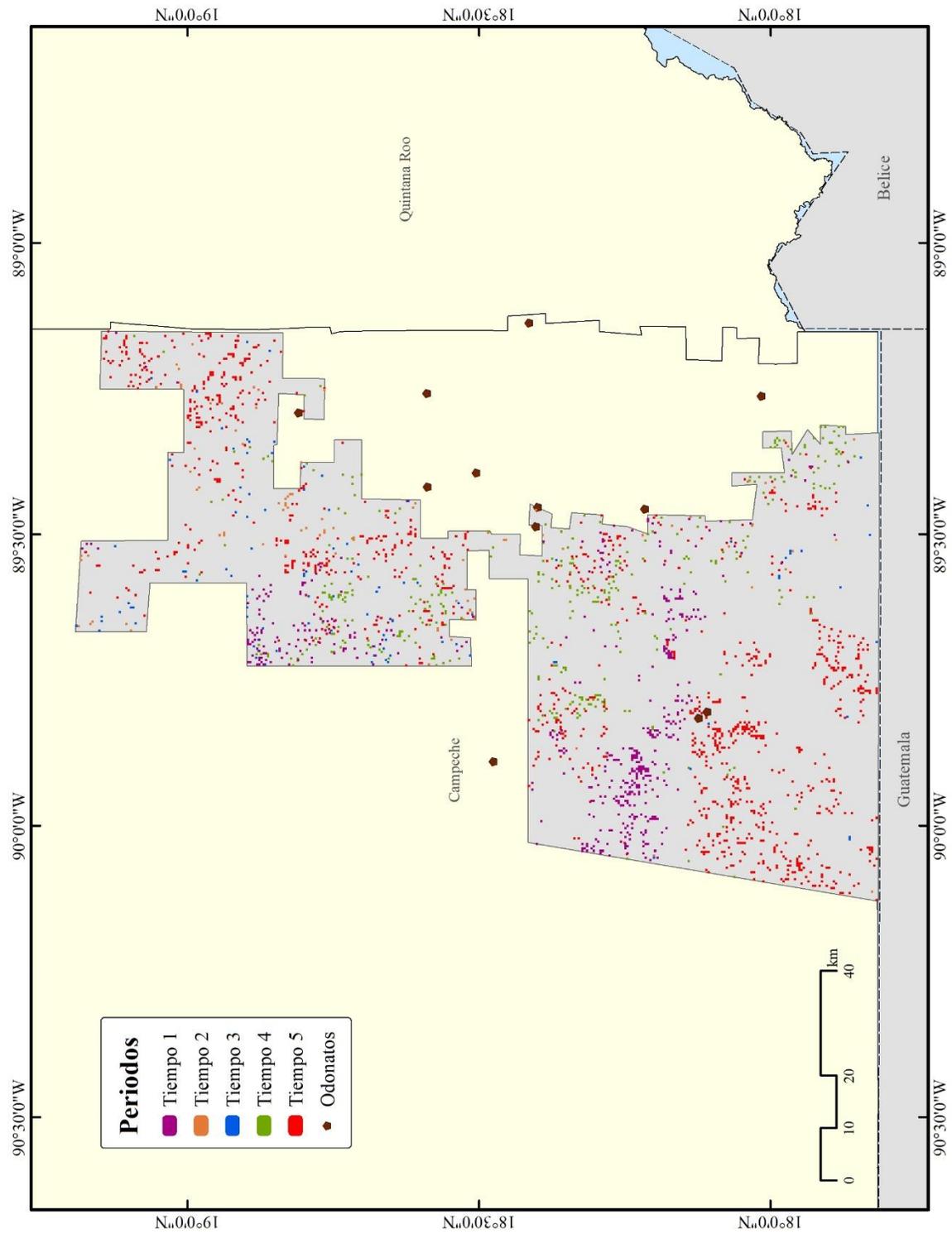
Finalmente, los tres escenarios muestran que la tendencia de cambio en la APRN es de manera homogénea, por lo que presenta un riesgo debido a que toda la zona se está viendo afectada y requiere atención para disminuir la pérdida.

Mapa 28. Deforestación según umbrales propuestos por CLASlite en Reserva de la Biosfera Calakmul



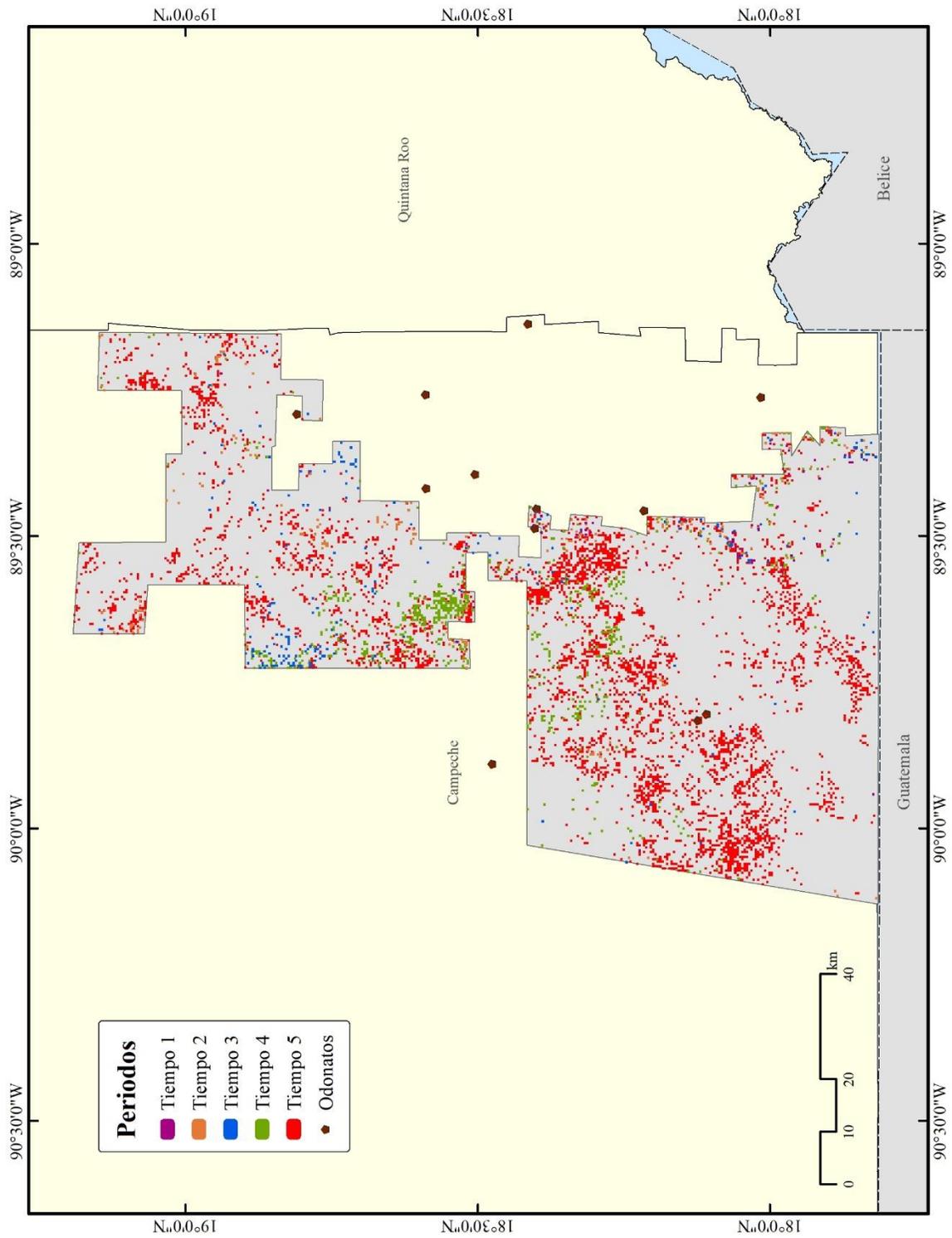
Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 29. Perturbación según umbrales propuestos por CLASlite en Reserva de la Biosfera Calakmul



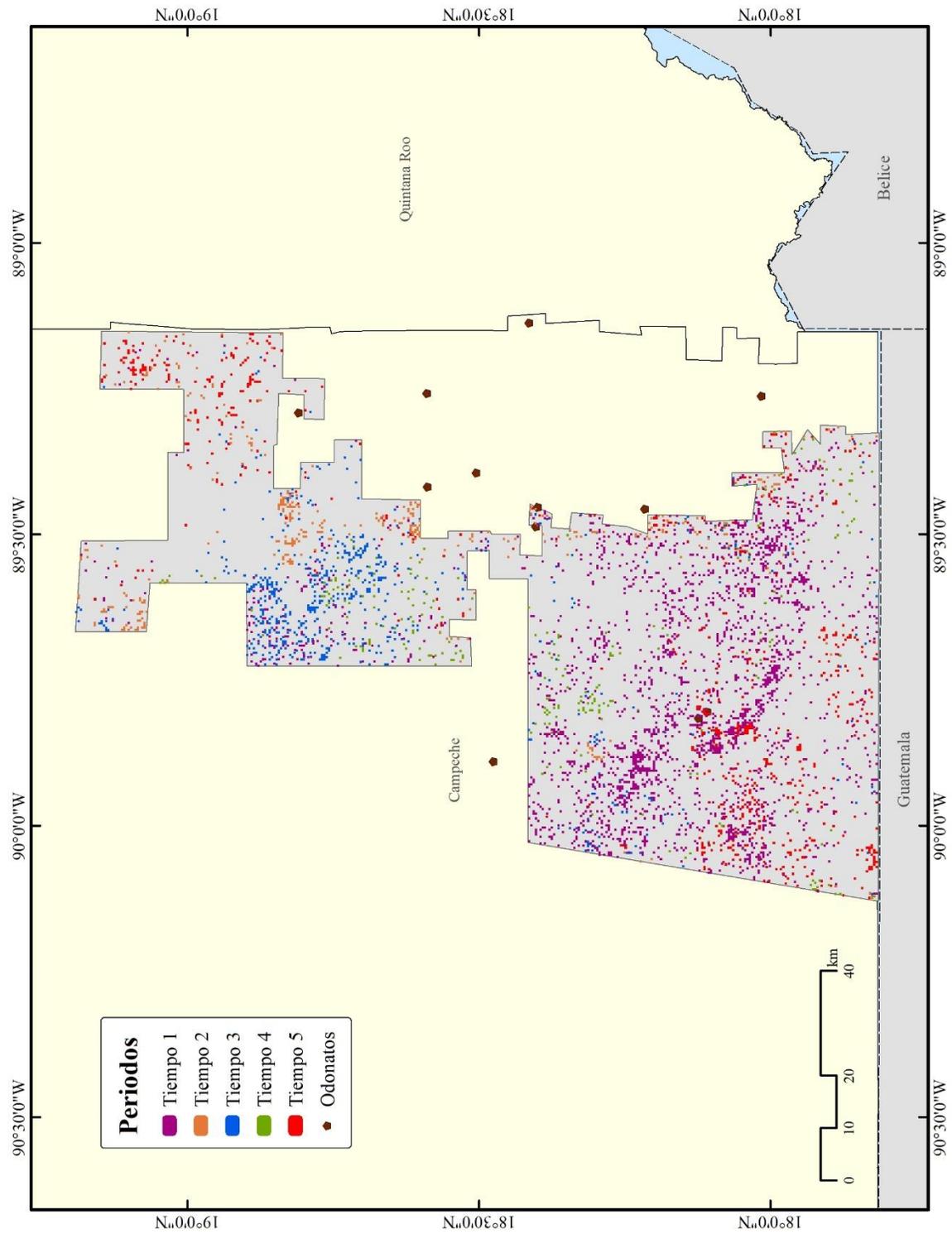
Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 30. Deforestación según umbrales por debajo de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Calakmul



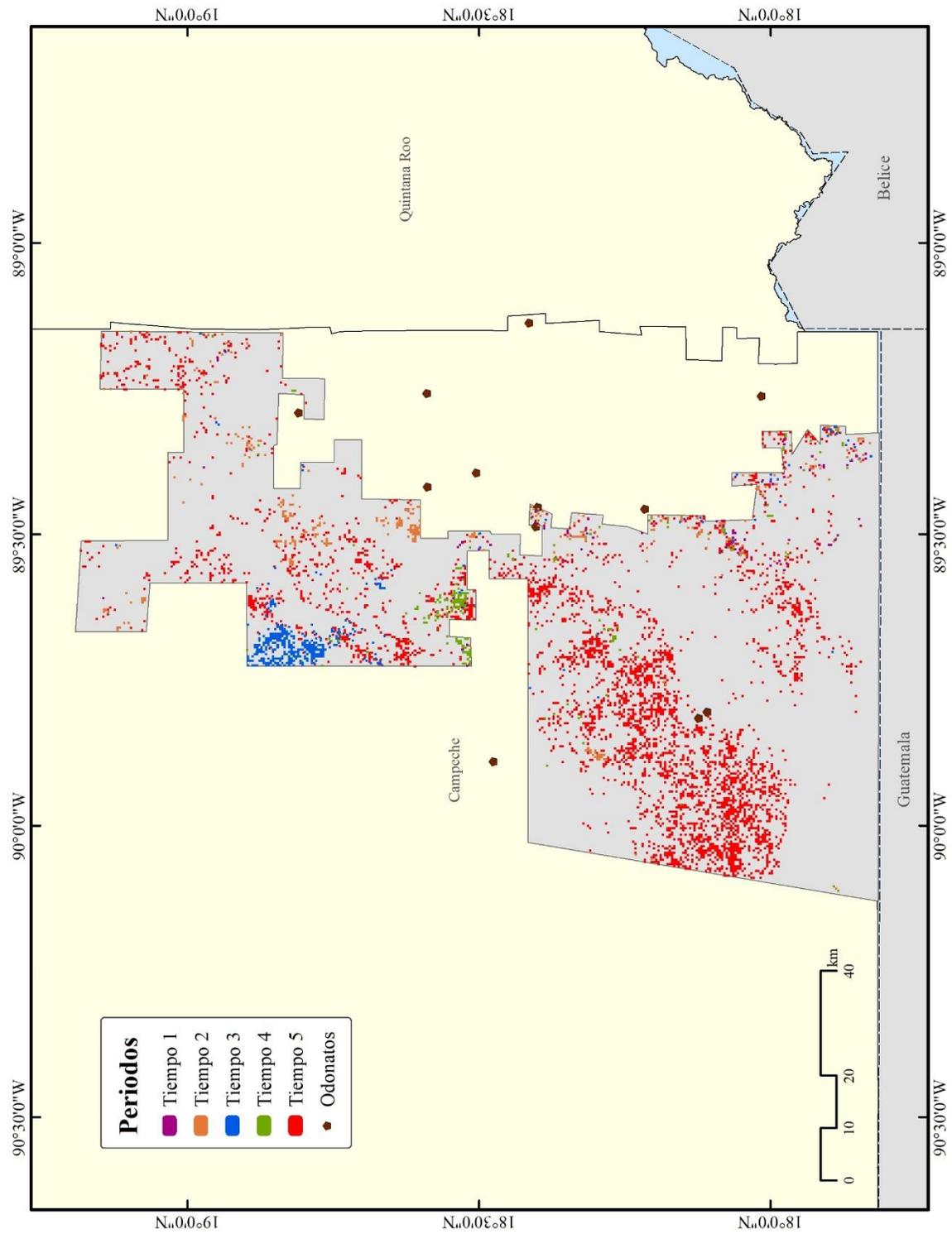
Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 31. Perturbación según umbrales por debajo de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Calakmul



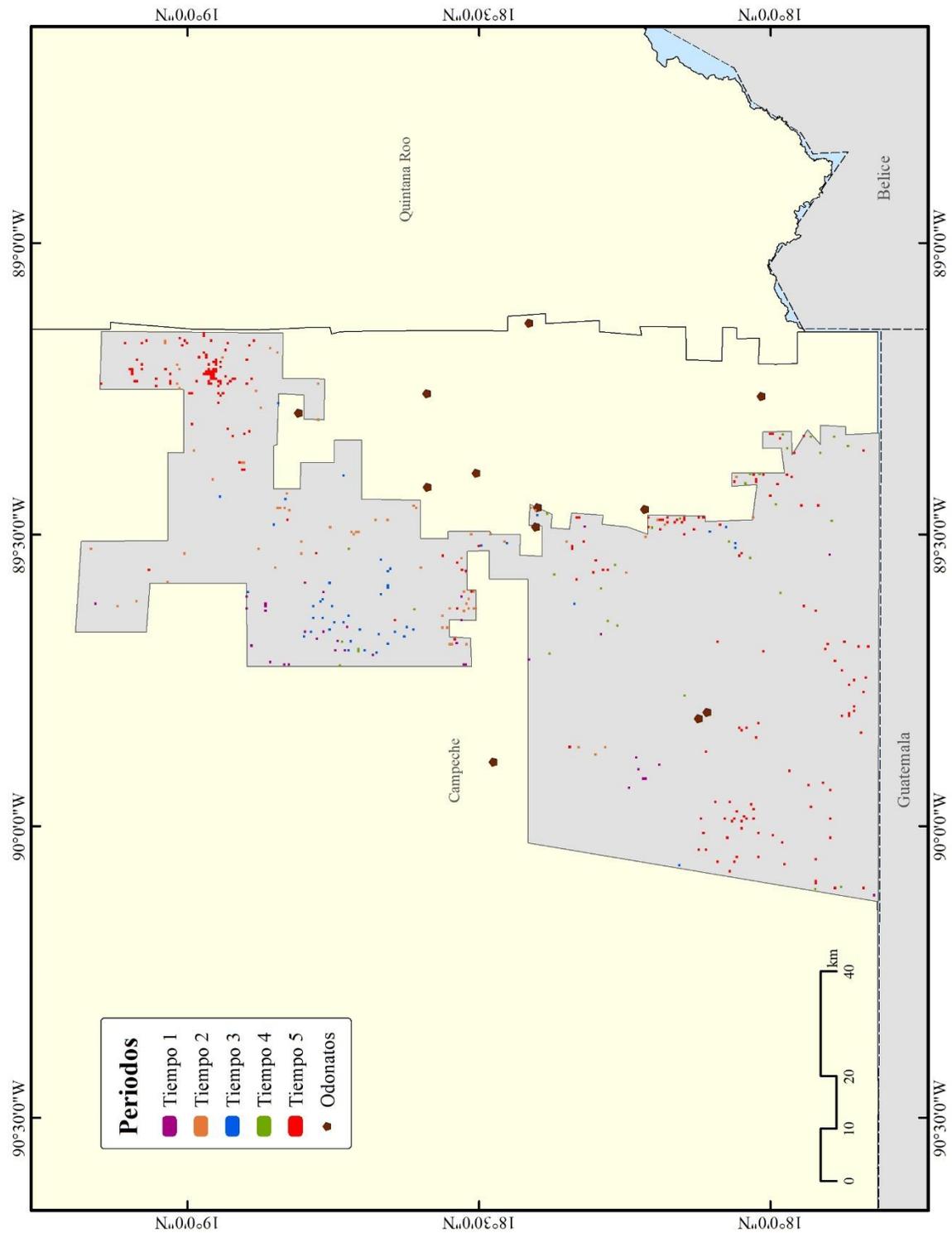
Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 32. Deforestación según umbrales por arriba de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Calakmul



Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

Mapa 33. Perturbación según umbrales por arriba de los valores de CLASlite en Reserva de la Biosfera Calakmul



Fuente: Elaboración propia con información de CONANP (2016b) y resultados obtenidos.

En la RB Calakmul, el mapa de deforestación según los umbrales propuestos por CLASlite (Mapa 28) muestra que la pérdida se encuentra principalmente al norte y este, ocupando parte de la ZN, de aprovechamiento intensivo, de protección de los recursos naturales e histórico cultural; por lo que se puede decir que la pérdida se realiza alrededor de la ZN. El quinto periodo es el que tiene mayor pérdida en la cobertura boscosa.

Por otro lado, se observa en el mapa de perturbación según los umbrales propuestos por CLASlite (Mapa 29), la pérdida se presenta de manera homogénea en toda la Reserva. El primer periodo es el que tiene mayor pérdida en cobertura boscosa por perturbación. Los registros de odonatos se encuentran en la zona perturbada.

El mapa de deforestación según los umbrales por debajo de los establecidos por CLASlite (Mapa 30) muestra que toda el área tiene pérdida considerable, principalmente la parte sur y centro de la Reserva. El periodo que tiene mayor pérdida es el quinto, además los registros de odonatos se localizan en la zona deforestada.

En cuanto a el mapa de perturbación según los umbrales por debajo de los establecidos por CLASlite (Mapa 31) se percibe que toda el área tiene una pérdida, mayormente en la parte sur y centro del área. Asimismo, los registros se encuentran en la zona con pérdida. El primer periodo es el que tiene mayor pérdida de cobertura boscosa.

Para el mapa de deforestación según los valores arriba de los propuestos por CLASlite (Mapa 32), la pérdida se aglomera en la parte centro y este de la Reserva, destacando el quinto periodo con un valor más alto. En la zona deforestada se localizan los registros de odonatos.

Se observa en el mapa de perturbación según los valores arriba de los propuestos por CLASlite (Mapa 33), la Reserva tiene pérdida en toda la zona, sin embargo, se aglomera en la parte noreste. El quinto periodo tiene más pérdida por perturbación.

Finalmente, los tres escenarios muestran que la tendencia de cambio en la RB es al sur y centro, ocupando parte de la ZN y sus alrededores, posiblemente por la actividad antropogénica, lo que presenta un riesgo en la cobertura boscosa.

Posteriormente, mediante un SIG se evaluó para las cuatro ANP en los tres escenarios si los cambios resultantes de los cinco periodos⁸² eran repetitivos respectivamente, con el propósito de localizar zonas que requieran atención para su conservación, por la pérdida de cobertura boscosa, ya que a corto o largo plazo pueden ser acumulativos y tener efectos negativos.

Algunos efectos pueden ser la interrupción en la captación de agua para la recarga de mantos acuíferos, composición de la vegetación, erosión de los suelos y cambios en la temperatura; lo cual afectaría la diversidad y el ciclo de vida de los odonatos que se desarrollan tanto en hábitats terrestres como acuáticos. Además, sin considerar el efecto que habría sobre las demás especies presentes en las ANP.

No obstante, para las cuatro ANP tanto en deforestación y perturbación, no hay cambios representativos por lo que se puede concluir que la alteración de la cobertura boscosa es dinámica, es decir, no hay un patrón y no está focalizada. Lo anterior, es positivo considerando que no hay una pérdida acumulativa en los cinco periodos de la análisis, ya que denota que las ANP están cumpliendo con el propósito de conservación en el caso de este estudio.

⁸² Tiempo 1 (1984-1986), Tiempo 2 (1987-1992), Tiempo 3 (1995-1996), Tiempo 4 (1997-1998) y Tiempo 5 (2002-2005).

3.3.2. Relación entre la riqueza de odonatos y la cobertura forestal

Con el objetivo de evaluar el efecto de la pérdida de la cobertura boscosa en el hábitat del grupo *Odonata* en las ANP con alta diversidad en México, se graficó la línea de tendencia para conocer la relación de la diversidad estimada en función de la degradación y perturbación de los tres escenarios para las cuatro ANP y observar la dispersión de los datos.

Por medio del software Past (Paleontological Statistics) versión 3.22 (Hammer *et al.*, 2001) (<https://folk.uio.no/ohammer/past/>), se calculó el coeficiente de determinación (R^2). Es una medida estandarizada con un rango de valores de 0 a 1, que explica que tanto se alejan los valores entre sí y saber la relación entre las variables, que va de independiente a una relación perfecta respectivamente (Pardo y Ruiz, 2005).

Los resultados se muestran a continuación:

Cuadro 15. Resultados entre la diversidad estimada y la pérdida de cobertura boscosa

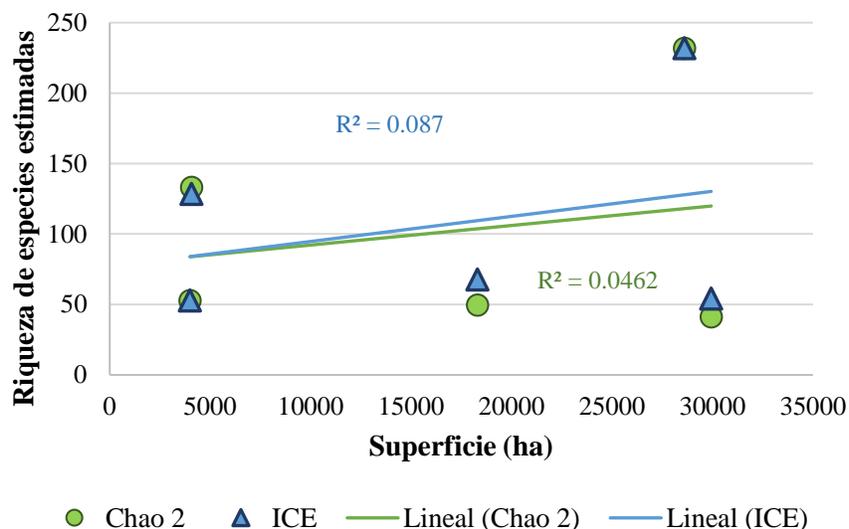
Escenario	Tipo de pérdida de cobertura	Chao 2	ICE
		R^2	
1	D	0.046	0.087
1	P	0.160	0.149
2	D	*0.499	*0.552
2	P	0.375	0.327
3	D	0.390	0.445
3	P	0.449	*0.524

Cambio de cobertura: (D) Deforestación y (P) Perturbación. *Cambios significativos.

Fuente: Resultados obtenidos.

1) umbrales propuestos por CLASlite

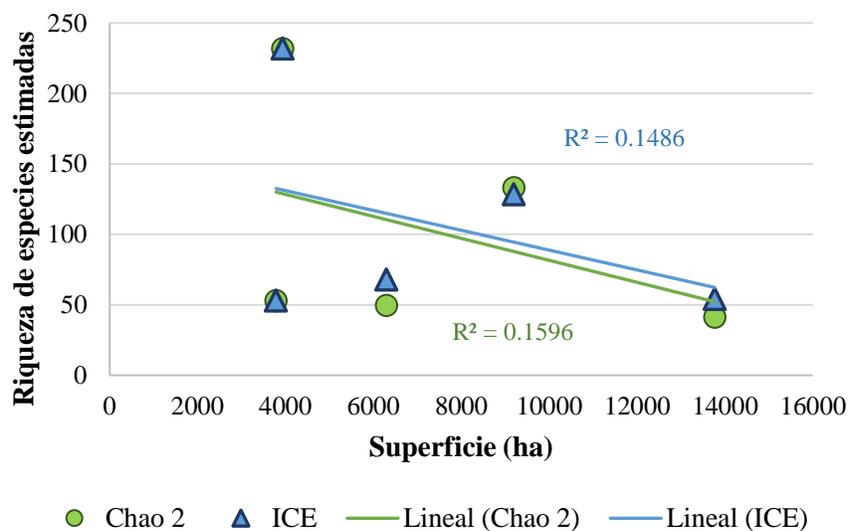
Gráfica 9. Curva de regresión de deforestación para escenario 1



Fuente: Resultados obtenidos.

La relación entre la deforestación obtenida del escenario 1 y los índices de Chao 2 e ICE no son significativos, es decir, los datos son muy dispersos entre sí por lo que el cambio en la cobertura en las ANP no tiene efecto en la riqueza de odonatos.

Gráfica 10. Curva de regresión de perturbación para escenario 1

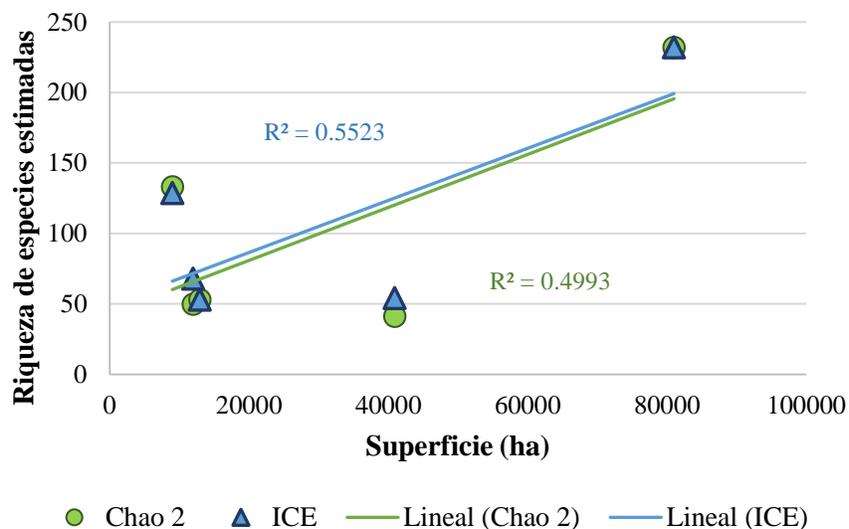


Fuente: Resultados obtenidos.

La afinidad entre la perturbación y los índices, no son significativas al igual que el caso anterior, por lo que el cambio de la vegetación por perturbación tampoco no tiene efecto en la presencia de odonatos.

2) *umbrales propuestos por debajo de los valores propuestos por el software*

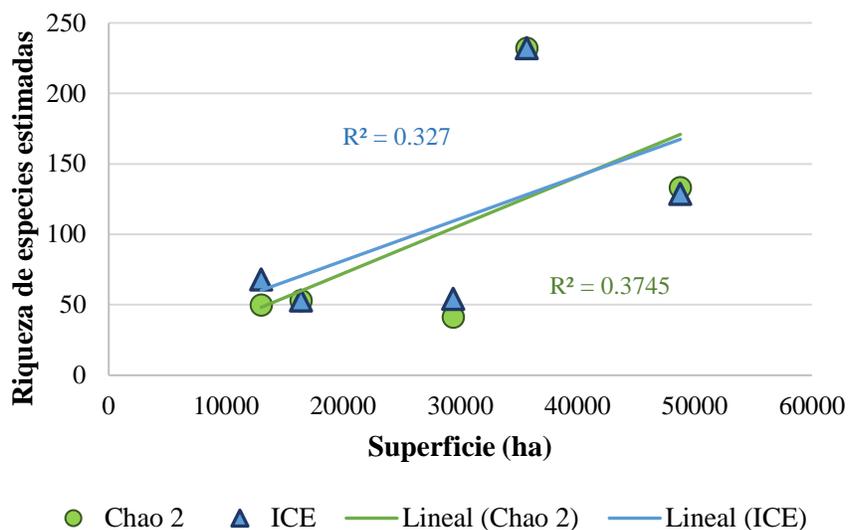
Gráfica 11. Curva de regresión de deforestación para escenario 2



Fuente: Resultados obtenidos.

Para el escenario 2 en el caso de la deforestación, el valor R^2 muestra valores medianamente significativos (mayor de 0.5), principalmente en el índice de ICE. Sin embargo, no es un valor que indiquen una relación importante, es decir, la pérdida de vegetación tiene un efecto moderado en la riqueza de especies.

Gráfica 12. Curva de regresión de perturbación para escenario 2

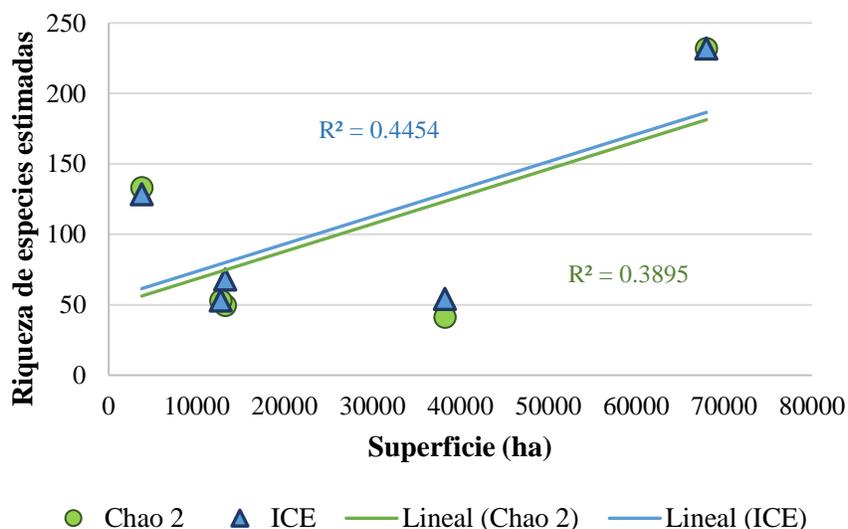


Fuente: Resultados obtenidos.

En el caso de la perturbación, el valor R^2 no muestra relación con los índices. Los datos son muy dispersos, por lo que se reafirma al igual que en la deforestación que la pérdida de vegetación no tiene efecto en la riqueza de especies.

3) *umbrales propuestos por arriba de los valores propuestos por el software*

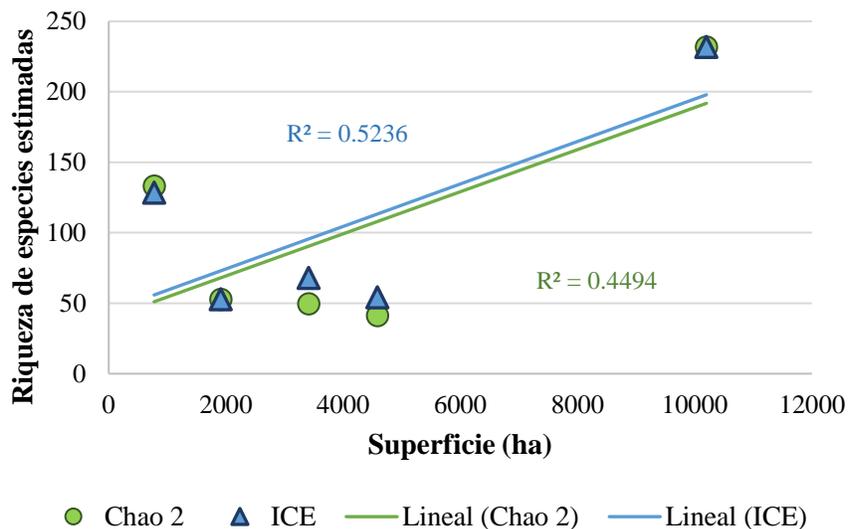
Gráfica 13. Curva de regresión de deforestación para escenario 3



Fuente: Resultados obtenidos.

Finalmente, para el escenario 3 la deforestación tampoco muestra relación para ambos índices en el valor de R^2 . El cambio en la cobertura en las ANP tampoco tiene efecto en la riqueza de odonatos.

Gráfica 14. Curva de regresión de perturbación para escenario 3



Fuente: Resultados obtenidos.

La perturbación solo muestra una relación medianamente significativa en el índice de ICE, es decir, que la pérdida de vegetación tiene un efecto moderado en la riqueza de especies.

Conclusión

El estudio permitió responder a la hipótesis sobre si existe una relación entre el cambio de la cobertura boscosa y la riqueza de especies, por lo que se puede decir de manera general para las cuatro ANP que no hay una relación de acuerdo con la distribución de los datos según el coeficiente de determinación (R^2), es decir, la pérdida de vegetación no tiene un efecto en la riqueza de especies.

De forma particular la zona que presenta más cambios es la Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa en los últimos dos periodos (1997 a 1998 y 2002 a 2005) con un valor de 17% en deforestación y 25% en perturbación respectivamente, de acuerdo con la superficie total en el escenario 2.

Por otro lado, la RB de Calakmul es la zona que tiene menor cambio en la cobertura boscosa, el último periodo (2000 a 2005) muestra el valor más alto de pérdida con 10% solo en deforestación para el escenario 2, mientras que el primer periodo (1984 a 1986) tiene el valor más alto con 9% en perturbación en el escenario 2.

Los cambios en la cobertura boscosa posiblemente son a causa de la presión antrópica por la extracción de recursos naturales, por lo que una estrategia de conservación es que se establezca una conexión de las áreas fragmentadas o corredores ecológicos para permitir la interacción entre los diferentes taxones. Considerando que el área más afectada es la Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, es importante la conservación porque es la conexión entre la zona costera del Pacífico y centro del país, es decir, parte de la Faja Volcánica Transmexicana.

Reconocer la categoría de manejo de las cuatro ANP del estudio, da pauta a cuestionarse si realmente las restricciones y la zonificación son las adecuadas. Como se mencionó en la investigación las RB son las que albergan mayor riqueza de odonatos, debido posiblemente a que es la categoría más estricta en cuanto a la conservación, por lo que se puede decir que cumple su propósito para el caso de los odonatos. De tal manera, el estudio da pie a realizar otra investigación para realizar un análisis de cada ANP considerando su zonificación.

Respecto, a los resultados obtenidos sobre si hay cambios repetitivos y que pueden ser un foco de atención por la pérdida de cobertura boscosa, se puede concluir que la deforestación y perturbación es dinámica en las cuatro ANP, es decir, no sigue un patrón o está focalizada.

Lo anterior, es positivo ya que denota que las ANP están cumpliendo con el propósito de conservación. Sin embargo, el estudio da pauta a realizar un análisis más detallado sobre que causa esta distribución homogénea, que posiblemente puede estar relacionada con factores antrópicos.

En conclusión, el uso de los odonatos como bioindicadores en la investigación no es el que se esperaba, ya que la pérdida de vegetación no tuvo un efecto en la riqueza de especies. Dado lo anterior, esto se puede explicar considerando otros estudios, por ejemplo, Rodríguez-Tapia *et al.*, (2020) menciona que en un sitio que tiene vegetación original o conservada y que posteriormente pasa a vegetación perturbada o modificada, se observa que no hay reducción en la riqueza de especies (riqueza alfa), pero si en la diversidad (riqueza beta), es decir, hay un recambio de especies.

También, Rocha-Ortega *et al.*, (2019) menciona que algunas especies son resilientes a los cambios en su hábitat por su sensibilidad, asimismo las especies pueden ser catalogadas como especialistas o generalistas, en función de la resistencia que muestren al deterioro o modificación de su hábitat natural.

Del mismo modo, Hofhansl y Schneeweih (2008) menciona que la alteración de su hábitat tiene consecuencias distintas en la distribución de las especies según su sensibilidad, porque es diferente el tipo de vegetación a la que dependen y su termorregulación, lo que puede causar un efecto en la riqueza de especies y una alteración en el ensamblaje de las especies.

Cabe mencionar que una de las principales limitantes del estudio fue la gran cantidad de registros que se eliminaron del análisis debido a que carecían de fechas en los datos de colecta, lo que disminuyó el esfuerzo de muestreo en los años de colecta. De los registros restantes solo se usaron los correspondientes de las cuatro ANP.

Posteriormente, se buscó las imágenes de satélite de forma que concordaran con los años de colecta, sin embargo, otra limitante en el estudio fue encontrar imágenes que tuvieran menos efecto de fenómenos atmosféricos para minimizar la cobertura de nubes, encontrarlas en temporalidad de época de secas y que no tuvieran el error de bandeo en las imágenes Landsat 7, por lo que nuevamente se limitó los años de estudio.

Este estudio da pauta a aplicar o ajustar esta metodología a otros grupos taxonómicos que tengan una relación más evidente con la vegetación (Miranda-Huerta *et al.*, 2019), teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: tener una base de datos más robusta en la que los registros cuenten con fechas de colecta, atender las características ecológicas de las especies e incluso hacer modelos de distribución para enriquecer la investigación, considerar la zonificación de las ANP y la disponibilidad de imágenes satelitales con una buena resolución espacial para visualizar mejor el territorio.

Cabe destacar que, aunque el estudio está enfocado a los odonatos, los resultados obtenidos sobre deforestación y perturbación en las cuatro ANP muestran que la pérdida de cobertura boscosa no es constante, no tiene un patrón espacial y no abarca una gran área. Con lo anterior, se puede decir que posiblemente otros taxones tampoco se están viendo afectados, aunque no se tiene la certeza.

Finalmente, la aportación de este trabajo a la geografía radica en aplicar métodos, herramientas y conceptos teóricos de disciplinas como la biogeografía, para analizar desde una perspectiva especial líneas de investigación poco exploradas por los geógrafos y que aportan ideas para resolver problemas asociados a la biodiversidad. El estudio permitió saber la distribución espacial de los odonatos en las ANP y la dinámica que tienen estas zonas de acuerdo con la deforestación y la perturbación, debido en mayor medida a aspectos sociales del territorio como el impacto de las actividades antrópicas en espacios delimitados que tiene como propósito la conservación de la biodiversidad representada en las ANP.

Anexos

Lista de especies de odonatos de la base de datos

No.		Familia	Especie	Presencia		
				México	ANP	ANP de estudio
1	Anisóptera	Aeshnidae	Aeshna dugesi (Calvert, 1905)	X		
2	Anisóptera	Aeshnidae	Aeshna jalapensis (Williamson, 1908)	X	X	X
3	Anisóptera	Aeshnidae	Aeshna multicolor (Hagen, 1861)	X		
4	Anisóptera	Aeshnidae	Aeshna persephone (Donnelly, 1961)	X		
5	Anisóptera	Aeshnidae	Aeshna psilus (Calvert, 1947)	X	X	X
6	Anisóptera	Aeshnidae	Aeshna williamsoniana (Calvert, 1905)	X		
7	Anisóptera	Aeshnidae	Anax amazili (Burmeister, 1839)	X	X	X
8	Anisóptera	Aeshnidae	Anax concolor (Brauer, 1865)	X	X	X
9	Anisóptera	Aeshnidae	Anax junius (Drury, 1773)	X	X	X
10	Anisóptera	Aeshnidae	Anax walsinghamsi (McLachlan, 1883)	X	X	X
11	Anisóptera	Aeshnidae	Coryphaeschna adnexa (Hagen, 1861)	X	X	X
12	Anisóptera	Aeshnidae	Coryphaeschna apeora (Paulson, 1994)	X		
13	Anisóptera	Aeshnidae	Coryphaeschna diapyra (Paulson, 1994)	X		
14	Anisóptera	Aeshnidae	Coryphaeschna perrensi (McLachlan, 1887)	X	X	X
15	Anisóptera	Aeshnidae	Coryphaeschna viriditas (Calvert, 1952)	X	X	X
16	Anisóptera	Aeshnidae	Gynacantha helenga (Williamson y Williamson, 1930)	X	X	X
17	Anisóptera	Aeshnidae	Gynacantha laticeps (Williamson, 1923)	X		
18	Anisóptera	Aeshnidae	Gynacantha mexicana	X	X	X

			(Selys, 1868)			
19	Anisóptera	Aeshnidae	Gynacantha nervosa (Rambur, 1842)	X	X	X
20	Anisóptera	Aeshnidae	Oplonaeschna armata (Hagen, 1861)	X		
21	Anisóptera	Aeshnidae	Oplonaeschna magna (González y Novelo, 1998)	X		
22	Anisóptera	Aeshnidae	Remartinia luteipennis (Burmeister, 1839)	X	X	X
23	Anisóptera	Aeshnidae	Remartinia secreta (Calvert, 1952)	X	X	X
24	Anisóptera	Aeshnidae	Rhionaeschna dugesi (Calvert, 1905)	X		
25	Anisóptera	Aeshnidae	Rhionaeschna jalapensis (Williamson, 1908)	X	X	X
26	Anisóptera	Aeshnidae	Rhionaeschna multicolor (Hagen, 1861)	X	X	X
27	Anisóptera	Aeshnidae	Rhionaeschna psilus (Calvert, 1947)	X	X	X
28	Anisóptera	Aeshnidae	Rhionaeschna vazquezae (González, 1986)	X		
29	Anisóptera	Aeshnidae	Triacanthagyna caribbea (Williamson, 1923)	X	X	X
30	Anisóptera	Aeshnidae	Triacanthagyna dentata (Geijskes, 1943)	X	X	X
31	Anisóptera	Aeshnidae	Triacanthagyna ditzleri (Williamson, 1923)	X	X	X
32	Anisóptera	Aeshnidae	Triacanthagyna septima (Selys in Sagra, 1857)	X	X	X
33	Anisóptera	Aeshnidae	Triacanthagyna trifida (Rambur, 1842)	X	X	X
34	Anisóptera	Cordulegastridae	Cordulegaster diadema (Selys, 1868)	X	X	
35	Anisóptera	Corduliidae	Macromia annulata (Hagen, 1861)	X		
36	Anisóptera	Corduliidae	Macromia magnifica (Selys, 1874) (Syn Macromia rickeri Walker, 1937)	X		
37	Anisóptera	Gomphidae	Agriogomphus tumens (Calvert, 1905)	X	X	X
38	Anisóptera	Gomphidae	Aphylla angustifolia	X	X	X

			(Garrison, 1986)			
39	Anisóptera	Gomphidae	Aphylla protracta (Hagen in Selys, 1859)	X	X	X
40	Anisóptera	Gomphidae	Archaeogomphus furcatus (Williamson, 1923)	X		
41	Anisóptera	Gomphidae	Epigomphus crepidus (Kennedy, 1936)	X		
42	Anisóptera	Gomphidae	Epigomphus donnellyi (González y Cook, 1988)	X	X	X
43	Anisóptera	Gomphidae	Epigomphus flinti (Donnelly, 1989)	X		
44	Anisóptera	Gomphidae	Epigomphus subobtusus (Selys, 1878)	X		
45	Anisóptera	Gomphidae	Epigomphus sulcatistyla (Donnelly, 1989)	X	X	X
46	Anisóptera	Gomphidae	Erpetogomphus agkistrodon (Garrison, 1994)	X		
47	Anisóptera	Gomphidae	Erpetogomphus boa (Selys, 1859)	X		
48	Anisóptera	Gomphidae	Erpetogomphus bothrops (Garrison, 1994)	X		
49	Anisóptera	Gomphidae	Erpetogomphus compositus (Hagen y Selys, 1858)	X		
50	Anisóptera	Gomphidae	Erpetogomphus constrictor (Ris, 1918)	X		
51	Anisóptera	Gomphidae	Erpetogomphus cophias Selys, 1858	X	X	
52	Anisóptera	Gomphidae	Erpetogomphus crotalinus (Hagen in Selys, 1854)	X		
53	Anisóptera	Gomphidae	Erpetogomphus elaps (Selys, 1858)	X		
54	Anisóptera	Gomphidae	Erpetogomphus eutainia (Calvert, 1905)	X	X	X
55	Anisóptera	Gomphidae	Erpetogomphus ophibolus (Calvert, 1905)	X	X	X
56	Anisóptera	Gomphidae	Erpetogomphus sipedon (Calvert, 1905)	X		
57	Anisóptera	Gomphidae	Erpetogomphus viperinus (Selys, 1868)	X	X	X
58	Anisóptera	Gomphidae	Gomphus gonzalezi (Dunkle, 1992)	X		

59	Anisóptera	Gomphidae	<i>Ophiogomphus purepecha</i> (González & Villeda-Callejas, 2000)	X		
60	Anisóptera	Gomphidae	<i>Phyllocycla breviphylla</i> (Belle, 1975)	X	X	X
61	Anisóptera	Gomphidae	<i>Phyllocycla elongata</i> (Selys in Selys & Hagen, 1858)	X		
62	Anisóptera	Gomphidae	<i>Phyllocycla volsella</i> (Calvert, 1905)	X	X	X
63	Anisóptera	Gomphidae	<i>Phyllogomphoides albrighti</i> (Needham, 1950)	X		
64	Anisóptera	Gomphidae	<i>Phyllogomphoides apiculatus</i> (Cook y González, 1990)	X		
65	Anisóptera	Gomphidae	<i>Phyllogomphoides danieli</i> (Gonzalez y Novelo, 1990)	X		
66	Anisóptera	Gomphidae	<i>Phyllogomphoides duodentatus</i> (Donnelly, 1979)	X		
67	Anisóptera	Gomphidae	<i>Phyllogomphoides indicatrix</i> (Belle, 1989)	X		
68	Anisóptera	Gomphidae	<i>Phyllogomphoides luisi</i> (González-Soriano & Novelo-Gutiérrez, 1988)	X		
69	Anisóptera	Gomphidae	<i>Phyllogomphoides nayaritensis</i> (Belle, 1987)	X		
70	Anisóptera	Gomphidae	<i>Phyllogomphoides pacificus</i> (Selys, 1873)	X	X	X
71	Anisóptera	Gomphidae	<i>Phyllogomphoides pugnifer</i> (Donnelly, 1979)	X	X	X
72	Anisóptera	Gomphidae	<i>Phyllogomphoides suasus</i> (Selys, 1859)	X	X	X
73	Anisóptera	Gomphidae	<i>Progomphus amarillus</i> (Tennessen, 1992)	X		
74	Anisóptera	Gomphidae	<i>Progomphus belyshevi</i> (Belle, 1991)	X		
75	Anisóptera	Gomphidae	<i>Progomphus borealis</i> (Selys, 1873)	X	X	
76	Anisóptera	Gomphidae	<i>Progomphus clendoni</i> (Calvert, 1905)	X	X	X

77	Anisóptera	Gomphidae	<i>Progomphus lambertoi</i> (Novelo-Gutiérrez, 2007)	X		
78	Anisóptera	Gomphidae	<i>Progomphus marcelae</i> (Novelo-Gutiérrez, 2007)	X		
79	Anisóptera	Gomphidae	<i>Progomphus mexicanus</i> (Belle, 1973)	X		
80	Anisóptera	Gomphidae	<i>Progomphus pygmaeus</i> (Selys, 1873)	X	X	X
81	Anisóptera	Gomphidae	<i>Progomphus zonatus</i> (Hagen in Selys, 1854)	X		
82	Anisóptera	Gomphidae	<i>Stylurus falcatus</i> (Gloyd, 1944)	X		
83	Anisóptera	Libellulidae	<i>Anatya guttata</i> (Erichson in Schomburgk, 1848)	X	X	X
84	Anisóptera	Libellulidae	<i>Anatya normalis</i> (Calvert, 1899)	X	X	X
85	Anisóptera	Libellulidae	<i>Brachymesia furcata</i> (Hagen, 1861)	X	X	X
86	Anisóptera	Libellulidae	<i>Brachymesia herbida</i> (Gundlach, 1889)	X		
87	Anisóptera	Libellulidae	<i>Brechmorhoga mendax</i> (Hagen, 1861)	X	X	X
88	Anisóptera	Libellulidae	<i>Brechmorhoga nubecula</i> (Rambur, 1842)	X	X	X
89	Anisóptera	Libellulidae	<i>Brechmorhoga pertinax</i> (Hagen, 1861)	X	X	
90	Anisóptera	Libellulidae	<i>Brechmorhoga praecox</i> (Hagen, 1861)	X	X	X
91	Anisóptera	Libellulidae	<i>Brechmorhoga rapax</i> (Calvert, 1898)	X	X	X
92	Anisóptera	Libellulidae	<i>Brechmorhoga tepeaca</i> (Calvert, 1908)	X	X	X
93	Anisóptera	Libellulidae	<i>Brechmorhoga vivax</i> (Calvert, 1906)	X	X	X
94	Anisóptera	Libellulidae	<i>Cannaphila insularis</i> (Kirby, 1889)	X	X	X
95	Anisóptera	Libellulidae	<i>Cannaphila vibex</i> (Hagen, 1861)	X	X	X
96	Anisóptera	Libellulidae	<i>Dythemis maya</i> (Calvert, 1906)	X	X	X
97	Anisóptera	Libellulidae	<i>Dythemis multipunctata</i> (Kirby, 1894)	X	X	X
98	Anisóptera	Libellulidae	<i>Dythemis nigrescens</i>	X	X	

			(Calvert, 1899)			
99	Anisóptera	Libellulidae	Dythemis sterilis (Hagen, 1861)	X	X	X
100	Anisóptera	Libellulidae	Dythemis velox (Hagen, 1861)	X	X	X
101	Anisóptera	Libellulidae	Elasmothemis cannacrioides (Calvert, 1906)	X	X	X
102	Anisóptera	Libellulidae	Erythemis attala (Selys in Sagra, 1857)	X	X	X
103	Anisóptera	Libellulidae	Erythemis collocata (Hagen, 1861)	X		
104	Anisóptera	Libellulidae	Erythemis haematogastra (Burmeister, 1839)	X	X	X
105	Anisóptera	Libellulidae	Erythemis mithroides (Brauer, 1900)	X	X	X
106	Anisóptera	Libellulidae	Erythemis peruviana (Rambur, 1842)	X	X	X
107	Anisóptera	Libellulidae	Erythemis plebeja (Burmeister, 1839)	X	X	X
108	Anisóptera	Libellulidae	Erythemis simplicicollis (Say, 1840)	X	X	X
109	Anisóptera	Libellulidae	Erythemis vesiculosa (Fabricius, 1775)	X	X	X
110	Anisóptera	Libellulidae	Erythrodiplax andagoya (Borror, 1942)	X		
111	Anisóptera	Libellulidae	Erythrodiplax basifusca (Calvert, 1895)	X		
112	Anisóptera	Libellulidae	Erythrodiplax berenice (Drury, 1773)	X		
113	Anisóptera	Libellulidae	Erythrodiplax connata (Burmeister, 1839)	X	X	X
114	Anisóptera	Libellulidae	Erythrodiplax fervida (Erichson in Schomburgk, 1848)	X	X	X
115	Anisóptera	Libellulidae	Erythrodiplax funerea (Hagen, 1861)	X	X	X
116	Anisóptera	Libellulidae	Erythrodiplax fusca (Rambur, 1842)	X	X	X
117	Anisóptera	Libellulidae	Erythrodiplax umbrata (Linnaeus, 1758)	X	X	X
118	Anisóptera	Libellulidae	Idiataphe cubensis (Scudder, 1866)	X	X	X

119	Anisóptera	Libellulidae	Libellula croceipennis (Selys, 1868)	X	X	X
120	Anisóptera	Libellulidae	Libellula gagei (Gloyd, 1938)	X	X	X
121	Anisóptera	Libellulidae	Libellula herculea (Karsch, 1889)	X	X	X
122	Anisóptera	Libellulidae	Libellula luctuosa (Burmeister, 1839)	X		
123	Anisóptera	Libellulidae	Libellula saturata (Uhler, 1857)	X	X	X
124	Anisóptera	Libellulidae	Macrothemis hemichlora (Burmeister, 1839)	X	X	X
125	Anisóptera	Libellulidae	Macrothemis imitans (Karsch, 1890)	X		
126	Anisóptera	Libellulidae	Macrothemis inacuta (Calvert, 1898)	X	X	X
127	Anisóptera	Libellulidae	Macrothemis inequiunguis (Calvert, 1895)	X	X	X
128	Anisóptera	Libellulidae	Macrothemis musiva (Calvert, 1898)	X	X	X
129	Anisóptera	Libellulidae	Macrothemis pseudimitans (Calvert, 1898)	X	X	X
130	Anisóptera	Libellulidae	Macrothemis ultima (González, 1992)	X		
131	Anisóptera	Libellulidae	Miathyria marcella (Selys in Sagra, 1857)	X	X	X
132	Anisóptera	Libellulidae	Miathyria simplex (Rambur, 1842)	X	X	X
133	Anisóptera	Libellulidae	Micrathyria aequalis (Hagen, 1861)	X	X	X
134	Anisóptera	Libellulidae	Micrathyria atra (Martin, 1897)	X	X	X
135	Anisóptera	Libellulidae	Micrathyria debilis (Hagen, 1861)	X	X	X
136	Anisóptera	Libellulidae	Micrathyria didyma (Selys in Sagra, 1857)	X	X	X
137	Anisóptera	Libellulidae	Micrathyria dissocians (Calvert, 1906)	X	X	X
138	Anisóptera	Libellulidae	Micrathyria hagenii (Kirby, 1890)	X	X	X
139	Anisóptera	Libellulidae	Micrathyria ocellata	X	X	X

			(Martin, 1897)			
140	Anisóptera	Libellulidae	Micrathyria schumanni (Calvert, 1906)	X		
141	Anisóptera	Libellulidae	Nephepeltia chalconota (Ris, 1919)	X	X	X
142	Anisóptera	Libellulidae	Orthemis discolor (Burmeister, 1839)	X	X	
143	Anisóptera	Libellulidae	Orthemis ferruginea (Fabricius, 1775)	X	X	X
144	Anisóptera	Libellulidae	Orthemis levis (Calvert, 1906)	X	X	X
145	Anisóptera	Libellulidae	Pachydiplax longipennis (Burmeister, 1839)	X	X	X
146	Anisóptera	Libellulidae	Paltothemis cyanosoma (Garrison, 1982)	X		
147	Anisóptera	Libellulidae	Paltothemis lineatipes (Karsch, 1890)	X	X	X
148	Anisóptera	Libellulidae	Pantala flavescens (Fabricius, 1798)	X	X	X
149	Anisóptera	Libellulidae	Pantala hymenaea (Say, 1839)	X	X	X
150	Anisóptera	Libellulidae	Perithemis domitia (Drury, 1773)	X	X	X
151	Anisóptera	Libellulidae	Perithemis intensa (Kirby, 1889)	X	X	X
152	Anisóptera	Libellulidae	Perithemis mooma (Kirby, 1889)	X	X	X
153	Anisóptera	Libellulidae	Perithemis tenera (Say, 1839)	X		
154	Anisóptera	Libellulidae	Planiplax sanguiniventris (Calvert, 1907)	X	X	X
155	Anisóptera	Libellulidae	Pseudoleon superbus (Hagen, 1861)	X	X	X
156	Anisóptera	Libellulidae	Sympetrum corruptum (Hagen, 1861)	X	X	
157	Anisóptera	Libellulidae	Sympetrum illotum (Hagen, 1861)	X	X	X
158	Anisóptera	Libellulidae	Sympetrum signiferum (Cannings y Garrison, 1991)	X		
159	Anisóptera	Libellulidae	Tauriphila argo (Hagen, 1869)	X		
160	Anisóptera	Libellulidae	Tauriphila australis	X	X	X

			(Hagen, 1867)			
161	Anisóptera	Libellulidae	Tauriphila azteca (Calvert, 1906)	X	X	X
162	Anisóptera	Libellulidae	Tholymis citrina (Hagen, 1867)	X	X	X
163	Anisóptera	Libellulidae	Tremea abdominalis (Rambur, 1842)	X	X	X
164	Anisóptera	Libellulidae	Tremea binotata (Rambur, 1842)	X	X	X
165	Anisóptera	Libellulidae	Tremea calverti (Muttkowski, 1910)	X	X	X
166	Anisóptera	Libellulidae	Tremea cophysa (Hagen, 1867)	X	X	X
167	Anisóptera	Libellulidae	Tremea lacerata (Hagen, 1861)	X	X	X
168	Anisóptera	Libellulidae	Tremea onusta (Hagen, 1861)	X	X	X
169	Zygóptera	Amphipterygidae	Amphipteryx longicaudata (González- Soriano, 1991)	X		
170	Zygóptera	Calopterygidae	Hetaerina americana (Fabricius, 1798)	X	X	X
171	Zygóptera	Calopterygidae	Hetaerina capitalis (Selys, 1874)	X	X	X
172	Zygóptera	Calopterygidae	Hetaerina cruentata (Rambur, 1842)	X	X	X
173	Zygóptera	Calopterygidae	Hetaerina infecta (Calvert, 1901)	X		
174	Zygóptera	Calopterygidae	Hetaerina occisa (Hagen in Selys, 1853)	X	X	X
175	Zygóptera	Calopterygidae	Hetaerina pilula (Calvert, 1901)	X	X	X
176	Zygóptera	Calopterygidae	Hetaerina sempronia (Hagen in Selys, 1853)	X	X	X
177	Zygóptera	Calopterygidae	Hetaerina titia (Drury, 1773)	X	X	X
178	Zygóptera	Calopterygidae	Hetaerina vulnerata (Hagen in Selys, 1853)	X	X	X
179	Zygóptera	Coenagrionidae	Acanthagrion inexpectum (Leonard, 1977)	X	X	X
180	Zygóptera	Coenagrionidae	Acanthagrion quadratum (Selys, 1876)	X	X	X
181	Zygóptera	Coenagrionidae	Anomalagrion hastatum	X		

			(Say, 1839)			
182	Zygóptera	Coenagrionidae	Apanisagrion lais (Selys, 1876)	X	X	X
183	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia anceps (Garrison, 1996)	X	X	X
184	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia barretti (Calvert, 1901)	X		
185	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia calida (Hagen, 1861)	X		
186	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia carlcooki (Daigle, 1995)	X	X	X
187	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia cuprea (Hagen, 1861)	X	X	X
188	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia deami (Calvert, 1901)	X		
189	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia extranea (Hagen, 1861)	X	X	X
190	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia fissa (Selys, 1865)	X	X	X
191	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia frequentula (Calvert, 1907)	X	X	X
192	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia fumipennis (Burmeister, 1839)	X		
193	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia funcki (Selys, 1854)	X	X	X
194	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia garrisoni (Daigle, 1991)	X		
195	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia gaumeri (Calvert, 1907)	X	X	X
196	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia harknessi (Calvert, 1899)	X	X	X
197	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia herberti (Calvert, 1901)	X	X	
198	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia immunda (Hagen, 1861)	X	X	X
199	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia indicatrix (Calvert, 1901)	X	X	X
200	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia lacrimans (Hagen, 1861)	X	X	
201	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia lugens (Hagen, 1861)	X		
202	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia medullaris (Hagen in Selys, 1865)	X		
203	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia nahuana (Calvert,	X		

			1901)			
204	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia oculata (Hagen in Selys, 1865)	X	X	X
205	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia oenea (Hagen in Selys, 1865)	X	X	X
206	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia pallens (Calvert, 1902)	X	X	X
207	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia percellulata (Calvert, 1902)	X	X	X
208	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia pipila (Calvert, 1907)	X		
209	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia plana (Calvert, 1902)	X	X	
210	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia pocomana (Calvert, 1907)	X		
211	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia popoluca (Calvert, 1902)	X	X	X
212	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia pulla (Hagen in Selys, 1865)	X	X	X
213	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia rhoadsi (Calvert, 1902)	X		
214	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia sedula (Hagen, 1861)	X	X	
215	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia tarascana (Calvert, 1902)	X	X	X
216	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia tezpi (Calvert, 1902)	X	X	X
217	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia translata (Hagen in Selys, 1865)	X	X	X
218	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia ulmeca (Calvert, 1902)	X	X	X
219	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia variabilis (Selys, 1865)	X	X	X
220	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia vivida (Hagen in Selys, 1865)	X		
221	Zygóptera	Coenagrionidae	Argia westfalli (Garrison, 1996)	X		
222	Zygóptera	Coenagrionidae	Enacantha caribbea (Donnelly & Alayo, 1966)	X		
223	Zygóptera	Coenagrionidae	Enallagma basidens (Calvert, 1902)	X		
224	Zygóptera	Coenagrionidae	Enallagma civile (Hagen, 1861)	X	X	X

225	Zygóptera	Coenagrionidae	Enallagma novaehispaniae (Calvert, 1907)	X	X	X
226	Zygóptera	Coenagrionidae	Enallagma praevarum (Hagen, 1861)	X	X	X
227	Zygóptera	Coenagrionidae	Enallagma semicirculare (Selys, 1876)	X	X	X
228	Zygóptera	Coenagrionidae	Hesperagrion heterodoxum (Selys, 1868)	X	X	X
229	Zygóptera	Coenagrionidae	Ischnura capreolus (Hagen, 1861)	X	X	X
230	Zygóptera	Coenagrionidae	Ischnura demorsa (Hagen, 1861)	X		
231	Zygóptera	Coenagrionidae	Ischnura denticollis (Burmeister, 1839)	X	X	X
232	Zygóptera	Coenagrionidae	Ischnura hastata (Say, 1840)	X	X	X
233	Zygóptera	Coenagrionidae	Ischnura posita (Hagen, 1861)	X	X	X
234	Zygóptera	Coenagrionidae	Ischnura ramburii (Selys in Sagra, 1857)	X	X	X
235	Zygóptera	Coenagrionidae	Ischnura verticalis (Say, 1840)	X		
236	Zygóptera	Coenagrionidae	Leptobasis candelaria (Alayo, 1968)	X		
237	Zygóptera	Coenagrionidae	Leptobasis lucifer (Donnelly, 1967)	X	X	X
238	Zygóptera	Coenagrionidae	Leptobasis melinogaster (González-Soriano, 2002)	X		
239	Zygóptera	Coenagrionidae	Leptobasis vacillans (Hagen in Selys, 1877)	X	X	X
240	Zygóptera	Coenagrionidae	Nehalennia minuta (Selys in Sagra, 1857)	X	X	X
241	Zygóptera	Coenagrionidae	Neoerythromma cultellatum (Selys, 1876)	X	X	X
242	Zygóptera	Coenagrionidae	Neoerythromma gladiolatum (Williamson & Williamson, 1930)	X		
243	Zygóptera	Coenagrionidae	Telebasis collopistes (Calvert, 1902)	X	X	X
244	Zygóptera	Coenagrionidae	Telebasis digiticollis (Calvert, 1902)	X	X	X

245	Zygóptera	Coenagrionidae	Telebasis filiola (Perty, 1834)	X		
246	Zygóptera	Coenagrionidae	Telebasis griffinii (Martin, 1896)	X	X	X
247	Zygóptera	Coenagrionidae	Telebasis isthmica (Calvert, 1902)	X		
248	Zygóptera	Coenagrionidae	Telebasis salva (Hagen, 1861)	X	X	X
249	Zygóptera	Lestidae	Archilestes grandis (Rambur, 1842)	X	X	X
250	Zygóptera	Lestidae	Archilestes latialatus (Donnelly, 1981)	X	X	X
251	Zygóptera	Lestidae	Archilestes regalis (Gloyd, 1944)	X		
252	Zygóptera	Lestidae	Lestes alacer (Hagen, 1861)	X	X	
253	Zygóptera	Lestidae	Lestes forficula (Rambur, 1842)	X	X	X
254	Zygóptera	Lestidae	Lestes rectangularis (Say, 1839)	X		
255	Zygóptera	Lestidae	Lestes sigma (Calvert, 1901)	X	X	X
256	Zygóptera	Lestidae	Lestes simplex (Hagen, 1861)	X		
257	Zygóptera	Lestidae	Lestes tenuatus (Rambur, 1842)	X	X	X
258	Zygóptera	Lestidae	Lestes tikalus (Kormondy, 1959)	X	X	X
259	Zygóptera	Lestidae	Lestes unguiculatus (Hagen, 1861)	X		
260	Zygóptera	Megapodagrionidae	Heteragrion albifrons (Ris, 1918)	X	X	X
261	Zygóptera	Megapodagrionidae	Heteragrion alienum (Williamson, 1919)	X	X	X
262	Zygóptera	Megapodagrionidae	Heteragrion azulum (Dunkle, 1989)	X	X	X
263	Zygóptera	Megapodagrionidae	Heteragrion chrysops (Hagen in Selys, 1862)	X	X	X
264	Zygóptera	Megapodagrionidae	Heteragrion tricellulare (Calvert, 1901)	X		
265	Zygóptera	Megapodagrionidae	Paraphlebia hyalina (Brauer, 1871)	X		
266	Zygóptera	Megapodagrionidae	Paraphlebia quinta	X	X	X

			(Calvert, 1901)			
267	Zygóptera	Megapodagrionidae	Paraphlebia zoe (Hagen, 1861)	X		
268	Zygóptera	Perilestidae	Perissolestes magdalenae (Williamson & Williamson, 1924)	X	X	X
269	Zygóptera	Platystictidae	Palaemnema desiderata (Selys, 1886)	X	X	X
270	Zygóptera	Platystictidae	Palaemnema domina (Calvert, 1903)	X	X	X
271	Zygóptera	Platystictidae	Palaemnema paucicoba (Calvert, 1931)	X		
272	Zygóptera	Platystictidae	Palaemnema paulitaba (Calvert, 1931)	X	X	X
273	Zygóptera	Platystictidae	Palaemnema paulitoyaca (Calvert, 1931)	X	X	X
274	Zygóptera	Polythoridae	Cora marina (Selys, 1868)	X	X	X
275	Zygóptera	Protoneuridae	Neoneura amelia (Calvert, 1903)	X	X	X
276	Zygóptera	Protoneuridae	Neoneura paya (Calvert, 1907)	X		
277	Zygóptera	Protoneuridae	Protoneura aurantiaca (Selys, 1886)	X	X	X
278	Zygóptera	Protoneuridae	Protoneura cara (Calvert, 1903)	X	X	X
279	Zygóptera	Protoneuridae	Protoneura corculum (Calvert, 1907)	X	X	X
280	Zygóptera	Protoneuridae	Protoneura cupida (Calvert, 1903)	X	X	X
281	Zygóptera	Protoneuridae	Protoneura rojiza (González, 1992)	X		
282	Zygóptera	Protoneuridae	Psaironeura remissa (Calvert, 1903)	X	X	X
283	Zygóptera	Pseudostigmatidae	Mecistogaster modesta (Selys, 1860)	X	X	X
284	Zygóptera	Pseudostigmatidae	Mecistogaster ornata (Rambur, 1842)	X	X	X
285	Zygóptera	Pseudostigmatidae	Megaloprepus caerulatus (Drury, 1782)	X	X	X
286	Zygóptera	Pseudostigmatidae	Pseudostigma aberrans (Selys, 1860)	X	X	X
287	Zygóptera	Pseudostigmatidae	Pseudostigma accedens (Selys, 1860)	X	X	X

Escenarios propuestos de CLASlite

2) *Umbral propuestos por debajo de los valores de CLASlite*⁸³:

Deforestación

$((PV1 - PV2) \geq 15)$
 $(S1 \leq 5) \text{ y } ((S2 - S1) \geq 10)$
 $((PV2 < 80) \text{ y } ((NPV2 - NPV1) \geq 15)))$

Perturbación

$((((NPV2 - NPV1) \geq 8) \text{ y } ((PV1 - PV2) > 8))$
 $((S1 \leq 5) \text{ y } ((S2 - S1) > 8) \text{ y } (S2 \leq 12)))$

Deforestación (píxeles excluidos)

$((PV1 \leq 0) \text{ y } (NPV1 \leq 0) \text{ y } (S1 \leq 0))$
 $((PV2 \leq 0) \text{ y } (NPV2 \leq 0) \text{ Y } (S2 \leq 0))$
 $((PV1 < 90) \text{ ó } (S1 \geq 10))$
 $((PV1 \geq 90) \text{ y } (NPV1 \geq 30) \text{ y } (RMSE1 \geq 6))$
 $((PV2 \geq 90) \text{ y } (NPV2 \geq 30) \text{ y } (RMSE2 \geq 6))$
 $((S2 \geq 40) \text{ y } (S2 < 100) \text{ y } (PV2 > 0))$
 $((((NPV2 - NPV1) < 5) \text{ y } (\text{abs}(\text{Ref11b1} - \text{Ref12b1}) > 300))$

Perturbación (píxeles excluidos)

$((PV1 \leq 0) \text{ y } (NPV1 \leq 0) \text{ y } (S1 \leq 0))$
 $((PV2 \leq 0) \text{ y } (NPV2 \leq 0) \text{ y } (S2 \leq 0))$
 $((PV1 < 90) \text{ ó } (S1 \geq 10))$
 $((PV1 \geq 90) \text{ y } (NPV1 \geq 30) \text{ y } (RMSE1 \geq 6))$
 $((PV2 \geq 90) \text{ y } (NPV2 \geq 30) \text{ y } (RMSE2 \geq 6))$
 $((S2 \geq 40) \text{ y } (S2 < 100) \text{ y } (PV2 > 0))$
 $((((NPV2 - NPV1) < 8) \text{ y } (\text{abs}(\text{Ref11b1} - \text{Ref12b1}) > 300) \text{ y } (\text{abs}(\text{Ref11b4} - \text{Ref12b4}) < 700)$
 $(\text{abs}(\text{Ref11b4} - \text{Ref12b4}) > 200))$

⁸³ PV (vegetación fotosintética o viva), NPV (vegetación no fotosintética o muerta) y S (superficie descubierta).

3) *Umbrales propuestos por arriba de los valores de CLASlite:*

Deforestación

$((PV1 - PV2) \geq 25)$
 $((S1 \leq 5) \text{ y } ((S2 - S1) \geq 15))$
 $((PV2 < 80) \text{ y } ((NPV2 - NPV1) \geq 20))$

Perturbación

$((((NPV2 - NPV1) \geq 8) \text{ y } ((PV1 - PV2) > 8))$
 $((S1 \leq 5) \text{ y } ((S2 - S1) > 8) \text{ y } (S2 \leq 12))$

Deforestación (píxeles excluidos)

$((PV1 \leq 0) \text{ y } (NPV1 \leq 0) \text{ y } (S1 \leq 0))$
 $((PV2 \leq 0) \text{ y } (NPV2 \leq 0) \text{ y } (S2 \leq 0))$
 $((PV1 < 90) \text{ ó } (S1 \geq 10))$
 $((PV1 \geq 90) \text{ y } (NPV1 \geq 30) \text{ y } (RMSE1 \geq 6))$
 $((PV2 \geq 90) \text{ y } (NPV2 \geq 30) \text{ y } (RMSE2 \geq 6))$
 $((S2 \geq 40) \text{ y } (S2 < 100) \text{ y } (PV2 > 0))$
 $((NPV2 - NPV1) < 5) \text{ y } (\text{abs}(\text{Ref11b1} - \text{Ref12b1}) > 300)$

Perturbación (píxeles excluidos)

$((PV1 \leq 0) \text{ y } (NPV1 \leq 0) \text{ y } (S1 \leq 0))$
 $((PV2 \leq 0) \text{ y } (NPV2 \leq 0) \text{ y } (S2 \leq 0))$
 $((PV1 < 80) \text{ ó } (S1 \geq 15))$
 $((PV1 \geq 80) \text{ y } (NPV1 \geq 35) \text{ y } (RMSE1 \geq 6))$
 $((PV2 \geq 80) \text{ y } (NPV2 \geq 35) \text{ y } (RMSE2 \geq 6))$
 $((S2 \geq 50) \text{ y } (S2 < 100) \text{ y } (PV2 > 0))$
 $((NPV2 - NPV1) < 10) \text{ y } (\text{abs}(\text{Ref11b1} - \text{Ref12b1}) > 300) \text{ y } (\text{abs}(\text{Ref11b4} - \text{Ref12b4}) < 700)$
 $\text{y } (\text{abs}(\text{Ref11b4} - \text{Ref12b4}) > 200)$

Referencias bibliográficas

- Aguirre, G. R. (2009). Conceptos de geomática y estudios de caso en México. Colección: Geografía para el siglo XXI. México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, 365 pp.
- Asner, G. P., Páez, G., Knapp, D., Balaji, A. y J. Clark. (2009a). Sistema amigable de monitoreo de la deforestación y perturbación de bosques tropicales CLASlite. Guía del usuario, versión 2.0. Institución Carnegie para la Ciencia, 41 pp.
- Asner, G. P., Knapp D.E, Balaji A. and Paez-Acosta G. (2009b). Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASlite. *Journal of Applied Remote Sensing*. Vol.3, 033543. doi:10.1117/1.3223675, 24 pp.
- Báez-Vargas, A. M., Esparza-Olguín, L., Martínez-Romero, E., Ochoa, S., Ramírez-Marcial, N. y González-Valdivia, N. A. (2017). Efecto del manejo sobre la diversidad de árboles en vegetación secundaria en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*, 65, 41-53 p.
- Ballesteros, A. G. (2000). La cuestión ambiental en la geografía del siglo XX. In *Anales de geografía de la Universidad Complutense*. Vol. 20, 101 pp.
- Balvanera, P. y Cotler, H. (2007). Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica*, (84-85), 8-15 p.
- Barradas, V.L., Cervantes J.P. y Puchet C.A. (2004). Evidencia de un cambio climático en la región de las Grandes Montañas del estado de Veracruz, México. In: García C., J.C., C. Diego L., P. Fernández de Arroyabe H., C. Garmendia P. y D. Rasilla A., eds. *El Clima entre el Mar y la Montaña*. Asociación Española de Climatología, Universidad de Cantabria, Santander, España, 213-219 pp.
- Bautista-Hernández, C. E., Monks, S. y Pulido-Flores, G. (2013). Los parásitos y el estudio de su biodiversidad: un enfoque sobre los estimadores de la riqueza de especies. En: Pulido-Flores G, Monks C., eds. *Estudios científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas*. Vol. 2. Hidalgo, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 13-17 p.
- Beck, J. and Kitching, I.J., (2007). Estimating regional species richness of tropical insects from museum data: a comparison of a geography-based and sample-based methods. *Journal of Applied Ecology* 44, 672–681 p.

- Bolaños, M., Paz F., Palacios E., Mejía E. y Huete A. (2007). Modelación de los efectos de la geometría sol–sensor en la reflectancia de la vegetación. *Agrociencia* 41: 527–537 p.
- Box, G.E., Hunter, J.S. y Hunter, W.G. (2008). *Estadística para investigadores*. Editorial Reverté, Barcelona. 639 pp.
- Bravo, P. L. C., Doode, M. O. S., Castellanos, V. A. E. y Espejel, C. I. (2010). Políticas rurales y pérdida de cobertura vegetal: Elementos para reformular instrumentos de fomento agropecuario relacionados con la apertura de praderas ganaderas en el noroeste de México. *Región y sociedad*, 22(48), 3-35 p.
- Brizuela, A., Aguirre, C. y Velasco, I. (2007). Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal. *Memorias. Teledetección. Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional*. Madrid, España, Vol.21, 207-214 p.
- Bueno, H.A. y Llorente B, J. (2001). Una visión histórica de la biogeografía dispersionista con críticas a sus fundamentos. *Caldasia*; Vol. 22, núm. 2 (2000), 161-184 p.
- Carvajal-Hernández, C.I, Krömer, T. y Vázquez-Torres, M. (2014). Riqueza y composición florística de pteridobiontes en bosque mesófilo de montaña y ambientes asociados en el centro de Veracruz, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85 (2), 491-501 p.
- Carvalho, F.G.D., Pinto, N.S., Oliveira Junior, J.M.B. and Juen, L. (2013). Effects of marginal vegetation removal on Odonata communities. *Acta Limnol. Bras.* 25 (1), 10–18 p.
- Carmona, A. y Monsalve, J. (2004). Sistemas de información geográficos. In Congreso de Ingeniería de Sistemas en la Universidad San Buenaventura de Medellín, Colombia. 40 pp.
- Castellanos-Villegas, A. E., Bravo, L. C., Koch, G. W., Llano, J., López, D., Méndez, R. y Yanes-Arvayo, G. (2010). Impactos ecológicos por el uso del terreno en el funcionamiento de ecosistemas áridos y semiáridos. *Diversidad biológica del estado de Sonora*. Universidad Nacional Autónoma de México, México DF, 157-186 p.
- Challenger, A. (2005). Prioridades para la protección de los ecosistemas en el estado de Veracruz. Presentación en el Seminario Taller Internacional sobre Servicios Ambientales Veracruz 2003. 11-13 de mayo, 2003, Huatusco, Veracruz. COEPA-INECOL-CONAFOR.

- Challenger, A., Dirzo, R., López, J. C., Mendoza, E., Lira-Noriega, A. y Cruz, I. (2009). Factores de cambio y estado de la biodiversidad. Capital natural de México, Vol. 2: Estado de conservación y tendencias de cambio. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México, 37-73 pp.
- Chuvieco, E. (2002). Teledetección ambiental. Ariel Ciencia, Catena, Barcelona, España, 586 pp.
- CLASlite Team. (2013). CLASlite forest monitoring technology: Version 3.1 User Guide. Disponible de: <http://claslite.carnegiescience.edu>. Carnegie Institution for Science, Washington, DC, 41 pp.
- Clausnitzer, V., Kalkman, V. J., Ram, M., Collen, B., Baillie, J. E., Bedjanič, M. and Karube, H. (2009). Odonata enter the biodiversity crisis debate: the first global assessment of an insect group. *Biological Conservation*, 142(8), 1864-1869 pp.
- Clavijo-Calderón, C. A. y Cázares-Rodríguez, M. A. (2016). Odonatos como bioindicadores de la calidad de agua en Surutato, Sinaloa. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Entomología*, 2, 1-5 p.
- Coll-Hurtado, A. (2003). México, una visión geográfica, *Temas Selectos de Geografía de México (II.2)*, 2a. ed., Instituto de Geografía, UNAM, México, 137 pp.
- Colwell, R.K. (2013). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9 and earlier. User's Guide and application. De: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/>. Consultado el 12 septiembre de 2017.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (1998). La diversidad biológica de México: Estudio de País. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2006). Capital natural y bienestar social. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de Biodiversidad). (2010). Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Aguascalientes (ECUSBEA), Instituto del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes (IMAE), Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), México, 80 pp.

- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2014). Quinto Informe Nacional de México ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2014). Atlas del agua en México 2014. México. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua, 139 pp. De: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-17-14.pdf>. Consultado el 08 de junio 2018.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2000). Programa de conservación y manejo de la Reserva de la Biosfera Calakmul. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México, 49 pp.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2005). Programa de conservación y manejo Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México, 45 pp.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2009). Programa de conservación y manejo de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México, 113 pp.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2013). Estudio Previo Justificativo para la modificación de la Declaratoria del Área de Protección de Recursos Naturales “Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa” ubicada en los estados de Hidalgo y Puebla. México. 74 p. + 6 Anexos para un total de 121 pp.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2014). Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2014–2018. Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Gobierno de la República. México, 152 pp.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2016a). Programas de Manejo de las Áreas Naturales Protegidas de México. De: <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/programas-de-manejo>. Consultado el 21 mayo de 2018.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2016b). Sistema de Información Geográfica de las Áreas Naturales Protegidas (SIG). De: <http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/>. Consultado el 10 mayo de 2018.

- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2018a). Áreas Naturales Protegidas. México. De: http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/datos_anp.htm. Consultado el 10 mayo de 2018.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2018b). Sistema de Información. Monitoreo y Evaluación para la Conservación (SIMEC). Consulta Fichas ANP. Ficha descriptiva de Todas las regiones. De: https://simec.conanp.gob.mx/consulta_fichas.php. Consultado el 10 mayo de 2018.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2018c). 100 Años de Conservación en México, México, 634 pp.
- Córdoba-Aguilar A. (2008). Dragonflies and Damselflies: Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research. Oxford University Press, Oxford, 290 pp.
- Córdoba-Aguilar, A. y Garay, M. (2017). Las libélulas y los caballitos del diablo: un mundo fascinante. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 31 pp.
- Córdoba-Aguilar, A. y Suárez Tovar, C. (2017). Un mundo sin dragones: libélulas en peligro de extinción. *Especies, Revista sobre conservación y biodiversidad, Naturalia*, 6-15 p.
- Contreras-Medina, R., Morrone, J. J. y Luna Vega, I. (2003). Uso de herramientas biogeográficas para el reconocimiento de “Hotspots” un ejemplo de aplicación con Briofitas y Gimnospermas. *Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, 155-157 p.
- CRISP (Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing). (2001). EO-1 (Earth Observing - 1). Disponible en <https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/eo1.htm>. Consultado el 16 octubre de 2018.
- Cuevas-Yáñez, K., Benítez, M., Rocha, M. and Córdoba-Aguilar, A. (2017). Large-scale human environmental intervention is related to a richness reduction in Mexican odonates. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(3), 664-673 p.
- Davidson, E. A., Asner, G. P., Stone, T. A., Neill, C. and Figueiredo, R. O. (2008). Objective indicators of pasture degradation from spectral mixture analysis of Landsat imagery. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, Vol. 113 (G1), 1-7 p.
- De Marco P. and Resende, D.C. (2002). Activity patterns and thermoregulation in a tropical dragonfly assemblage. *Odonatologica* 31, 129–138 p.

- Dimiceli, C., Carroll, M., Sohlberg, R., Kim, DH, Kelly, M. and Townshend, J.R.G. (2015). MOD44B MODIS / Terra Vegetación Campos continuos Anual L3 Global 250m SIN Grid V006 [Conjunto de datos]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067 / MODIS / MOD44B.006
- Dirzo, R. and. García M. C. (1992). Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a neotropical area in Veracruz, Mexico. *Conservation Biology*, 6: 84-90 p.
- Dirzo, R. y Mendoza, E. (2004). La selva de los Tuxtlas: paraíso amenazado. *Revista Pronatura*, n. 5, 18-35 p.
- Durand, L. y Jiménez, J. (2010). Sobre Áreas Naturales Protegidas y la construcción de no-lugares: Notas para México. *Revista lider*, 16 pp.
- Durand-Smith, M.L. y Ruiz Cedillo, J. (2009). Estaciones biológicas y participación social: la experiencia de la Universidad Nacional Autónoma de México en Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Ambiente y Sociedades*, XII (2), 325-340 p.
- Elbers, J. (2011). Las áreas protegidas de América Latina: Situación actual y perspectivas para el futuro. Quito, Ecuador, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), 227 pp.
- Escalante, T. (2003). ¿Cuántas especies hay?: los estimadores no paramétricos de Chao. *Elementos*, 52:53-56 p.
- Escoto-Moreno, J. A., Márquez, J. y Novelo-Gutiérrez, R. (2014a). Los odonatos (Insecta: Odonata) del estado de Hidalgo, México: situación actual y perspectivas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(4), 1043-1053 p.
- Escoto-Moreno, J. A., González-Soriano, E., Escoto-Rocha, J. y Márquez, J. (2014b). Riqueza y distribución de la familia Aeshnidae (Odonata: Anisoptera) en el estado de Aguascalientes, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(1), 209-217 pp.
- Espinosa D., Morrone J.J., Llorente J.E. y Flores V.O. (2002). Introducción al análisis de patrones en biogeografía histórica. México DF: Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 133 pp.
- Espinosa, D. y Ocegueda, S. (2008). El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. *Capital natural de México*, Vol. 1, 33-65 p.
- Esquivel, C. (2006). Dragonflies and damselflies of Middle America and the Caribbean. Primera edición. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), Costa Rica, 320 pp.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2020) Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA). De: <http://www.fao.org/3/I8661ES/i8661es.pdf>. Consultado el 21 septiembre de 2019.
- Galindo G., Espejo O. J., Rubiano J. C., Vergara L. K. y Cabrera E. (2014). Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. V 2.0. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., Colombia, 56 pp.
- Gallegos, J. R. D., Acosta, O. C. y Gil, G. G. (2014). Distribución espacial y estructura arbórea de la selva baja subperennifolia en un ejido de la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 18(35), 11-28 p.
- García-Gil, G. y Pat-Fernández J.M. (2000). Apropiación del Espacio y Colonización en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México. *Revista Mexicana del Caribe* 10:212–132 p.
- García de Miranda E. (1981). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Tercera edición. Ciudad de México, México, 252 pp.
- García de Miranda E. (2012). Apuntes de climatología. Instituto de Geografía, UNAM. México, 110 pp.
- González Ocampo, H., Cortés-Calva, P., Ñíguez Dávalos, L. y Ortega-Rubio, A. (2014). Las Áreas Naturales Protegidas de México. *Investigación y Ciencia*, Universidad de Aguascalientes, México. 22(60), 7-15 p.
- González-Soriano, E. y Novelo-Gutiérrez, R. (2014). Biodiversidad de Odonata en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, (85), 243-251 p.
- Gould, S. J. y Leal, A. G. (2004). La estructura de la teoría de la evolución. Tusquets editores, 3 pp.
- Gutiérrez, M. A. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas Vegetales sobre imágenes digitales de sensores Remotos: “Landsat–ETM+”. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 58(1), 2611-2634 p.
- Halfpeter, G. y Ecurra E. (1992). La diversidad biológica de Iberoamérica (Vol. 1). ¿Qué es la biodiversidad? Instituto de Ecología. 3-19 p.

- Hammer, O., Harper, D.A.T. and Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9 pp.
- Hansen, A. J., Neilson, R. P., Dale, V. H., Flather, C. H., Iverson, L. R., Currie, D. J., Shafer S.C. and Bartlein, P.J. (2001). Global change in forests: responses of species communities and biomes. *BioScience*, 51, 765–779 p.
- Hernández, H. J. y Montaner, D. (2009). Patrones de respuesta espectral. *Tecnologías Geoespaciales: Experiencias Aplicadas al Estudio y Gestión del Territorio*. Editorial Carlos Mena. 1-14 p.
- Hillebrand, H., Blasius, B., Borer, E.T., Chase, J.M., Downing, J.A., Eriksson, B.K., Filstrup, C.T., Harpole, W.S., Hodapp, D., Larsen, S., Lewandowska, A.M., Seabloom, E.W., Van de Waal, D.B. and Ryabov, A.B. (2018). Biodiversity change is uncoupled from species richness trends: consequences for conservation and monitoring. *J. Appl. Ecol.*, 55, 169– 184 p.
- Hubp, J. L. (1989). *Diccionario geomorfológico*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto de Geografía, México, 479 pp.
- Hugot, J. P. (2002). Biogéographie historique étude de la diversité biologique dans l'espace et dans le temps. *Biosystema* 20, 27 pp.
- Hofhansl, F. P. and Schneeweih, S. (2008). Banderillas: Effects of deforestation on dragonflies (Insecta, Odonata) in the Pacific lowland of Costa Rica. *Zugleich Kataloge der oberosterreichischen Landesmuseen Neue Serie*, 80, 237-247 p.
- Íñiguez-Dávalos, L. y Jiménez-Sierra, C., y Sosa-Ramírez, J., y Ortega-Rubio, A. (2014). Categorías de las Áreas Naturales Protegidas en México y una propuesta para la evaluación de su efectividad. *Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA)*, 60: 65-70 p.
- Izzat-Husna, M. and Ahmad, A. B. (2014). Odonata (class insecta) of Sungkai Wildlife Reserve, Perak, Malaysia. *Journal of Wildlife and Parks*, 29, 23-30 p.
- Jean-Francois Mas. (2011). *Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio*. Primera edición. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), México, 318 pp.
- Jensen, J. R. (2000). *Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective*. Prentice Hall series in geographic information science, 656 pp.

- Joleaud, L. (1924). L'histoire biogéographique de l'Amérique et la théorie de Wege. *Journal de la Société des Américanistes*, 16(1), 325-360 p.
- Jourde, P. (2010). Les Odonates biologie et écologie. *Insectes* 157, 3-8 p.
- Júnior, C. D. S. M., Juenb, L. and Hamadaa, N. (2015). Analysis of urban impacts on aquatic habitats in the central Amazon basin: Adult odonates as bioindicators of environmental quality. *Ecological Indicators*, 48, 303-311 p.
- Klimovsky, G. (1994). Las desventuras del conocimiento científico: una introducción a la epistemología. A-Z Editora, A-Z Editora. Buenos Aires, 418 pp.
- Knight, T. M., McCoy, M. W., Chase, J. M., McCoy, K. A. and Holt, R. D. (2005). Trophic cascades across ecosystems. *Nature*, 437(7060), 880 pp.
- Kutcher, T. E. and Bried, J. T. (2014). Adult Odonata conservatism as an indicator of freshwater wetland condition. *Ecological Indicators*, 38, 31-39 p.
- Lawrence, E. (2003). *Diccionario Akal de términos biológicos*. Madrid: Akal, España, 668 pp.
- LGEEPA (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente). (1988). México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018. DOF (Diario Oficial de la Federación). Última reforma publicada DOF 19-01-2018.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. and Chipman, J. W. (2004). *Remote sensing and image interpretation*. Fifth Edition. John Wiley. New York, 763 pp.
- Lis, A. E., González-Soriano, E. y Gutiérrez-Yurrita, P. J. (2002). Listado y distribución de los odonatos de la Cuenca del Río Moctezuma, Centro-Occidente de México (Insecta: Odonata). *Folia Entomológica Mexicana*, 41(3), 347-357 p.
- Llorente-Bousquets, J. y Ocegueda, S. (2008). Estado del conocimiento de la biota. Capital natural de México, Vol. 1: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de Biodiversidad (CONABIO), México, 283-322 p.
- López-Gómez, A. M. y Williams-Linera, G. (2006). Evaluación de métodos no paramétricos para la estimación de riqueza de especies de plantas leñosas en cafetales. *Botanical Sciences*, (78), 7-15 p.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell, Oxford, United Kingdom, 215 pp.

- Maldonado, B. y Martínez-Garza, C. (2012). Efecto de la perturbación en la comunidad de herbáceas nativas y ruderales de una selva estacional mexicana. *Botanical Sciences*, 90(4), 469-480 p.
- Mangolini, M., Ranchin, T. et Wald, L. (1993). Fusion d'images SPOT multispectrales (XS) et panchromatique (P), et d'images radar. In *De l'optique au radar, les applications de SPOT et ERS*. Cépaduès-Editions, 111 rue Vauquelin, Toulouse, France, 199-209 p.
- Martínez-Meyer, E., Sosa-Escalante, J. E. y Álvarez, F. (2014). El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección? *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 1-9 p.
- Mather, P. M. (2011). Computer processing of remotely sensed images. En: *Journal of Geography in Higher Education*. Vol. 13, No. 1, 81-83 p.
- Mayer-Goyenechea, I. G. (2009). Darwin y la Biogeografía. Laboratorio de Sistemática Molecular, Área Académica de Biología, ICBI, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), 2 pp.
- McPeck, M.A. (2008). Ecological factors limiting the distributions and abundances of Odonata. In: Córdoba-Aguilar, A. (Ed.), *Dragonflies: Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research*. Oxford University Press, Oxford, 51–62 p.
- Melo, G. C. (2002). Áreas Naturales Protegidas de México en el Siglo XX. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, 156 pp.
- Merlet, F. et Itac-Bruneau, R. (2016). Aborder la gestion conservatoire en faveur des Odonates. Guide technique. Office pour les insectes et leur environnement y Société française d'Odonatologie. Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Hauts de France, 96 pp.
- Miranda-Huerta K., Rodríguez-Tapia G., Rodríguez P., Rocha-Ortega M. y Córdoba-Aguilar A. (2019). Comparando perturbación y deforestación vs. riqueza de especies en Áreas Naturales Protegidas: un ejemplo con odonatos. En Ornelas-García, C. P., Álvarez, F. A. y Wegier, A. (Eds.), *Antropización: primer análisis integral*, IBUNAM, CONACYT. pp. 183-198.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. MyT–Manuales y Tesis SEA, Vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- Morrone, Juan. J. (2004). Panbiogeografía, componentes bióticos y zonas de transición. *Revista Brasileira de Entomologia*, 48 (2), 149-162 p.

- Morrone, Juan. J. y Escalante, Tania. (2009). Diccionario de biogeografía. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, 230 pp.
- Morrone, Juan J. y Escalante Tania (2016). Introducción a la biogeografía. Primera edición. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de Ciencias, México, 315 pp.
- Núñez, I., González G.E. y Barahona, A. (2003). La biodiversidad: historia y contexto de un concepto, *Interciencia*, vol. 28, núm. 7, Caracas, Venezuela, 387-393 p.
- Oertli, B. (2008). The use of dragonflies in the assessment and monitoring of aquatic habitats. *Dragonflies and damselflies: model organisms for ecological and evolutionary research*. Oxford University Press, Oxford, 79-95 p.
- Oreja, J. G., de la Fuente-Díaz-Ordaz, A. A., Hernández-Santín, L., Buzo-Franco, D. y Bonache-Regidor, C. (2010). Evaluación de estimadores no paramétricos de la riqueza de especies. Un ejemplo con aves en áreas verdes de la ciudad de Puebla, México. *Animal biodiversity and conservation*, 33(1), 31-45 p.
- Pardo, A. y Ruiz, M. Á. (2005). Análisis de datos con SPSS 13 Base. McGraw-Hill, España. 600 pp.
- Paulson, D. (2009). *Dragonflies and Damselflies of the West*. First Edition. Princeton University Press, 536 pp.
- Peresbarbosa, R. E., Moreno-Casasola, P., Salinas, G., Ferris, N., Castro C. B., Martínez, E. L., Sánchez, I. L., Ramírez, A. S., Monroy-Ibarra, R., Brizuela, G. H., Álvarez-Santiago, Guevara S., Portillo, J. L., Morales, R. L., Fernández de la Garza, R., Vega, R., Márquez, W. y Molina, M. (2007). Reserva archipiélago: una alternativa de conservación para la costa de Veracruz. Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica. *Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA)*, Zaragoza, 293-302 p.
- Riaño, D., Salas, J. y Chuvieco, E. (2000). Corrección atmosférica y topográfica, información multitemporal y auxiliar aplicadas a la cartografía de modelos de combustibles con imágenes Landsat-TM. *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*, 222-239 p.
- Riservato, E., Boudot J.P., Ferreira S., Jović M., Kalkman V.J., Schneider W., Samraoui B., y Cuttelod A. (2009). El estado de conservación y la distribución de las libélulas en la cuenca del Mediterráneo. *Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)*, Gland y Málaga. 33 pp.

- Rocha-Ortega, M., Rodríguez, P. and Córdoba-Aguilar, A. (2019). Spatial and temporal effects of land use change as potential drivers of odonate community composition but not species richness. *Biodiversity and Conservation*, 28(2), 451-466 p.
- Rodríguez, P. (2009). La diversidad beta en México: avances e implicaciones en la conservación de la biodiversidad. *BioDiversitas*, 84, 6-10 p.
- Rodríguez, P., Soberón, J. y Arita, H. T. (2003). El componente beta de la diversidad de mamíferos de México. *Acta zoológica mexicana*, (89), 241-259 p.
- Rodríguez, P. y Vázquez-Domínguez, E. (2003). Escalas y diversidad de especies. Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, 109-114 p.
- Rodríguez-Tapia *et al.*, (2020). An index to estimate the vulnerability of damselflies and dragonflies (Insecta: Odonata) to land use changes using niche modelling. *Ecological Insects* (In Press).
- Sánchez-Herrera, M. y Ware, J.L. (2012). Biogeografía de libélulas y caballitos del diablo: depredadores altamente móviles. 48- Departamento de Biología, Rutgers Universidad Estatal de Nueva Jersey, Campus de Newark, Newark, Nueva Jersey, 291-306 p
- Sánchez-Guillén, R. A., Córdoba-Aguilar, A., Hansson, B., Ott, J., and Wellenreuther, M. (2016). Evolutionary consequences of climate-induced range shifts in insects. *Biological Reviews*, 91(4), 1050-1064 p.
- Sanjaume, M. S., y Villanueva, R. J. B. (1999). Teoría y métodos en geografía física. Editorial Síntesis, Colección Espacios y Sociedades, Barcelona, España, 303 pp.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Gonzalo, H., González, R., March, I., Mohar, A., Anta, S., De la Maza, J. (2009). Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México, 100 pp.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2016b). La Cuenca Hidrográfica Río Necaxa destaca por sus impresionantes cascadas. De: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/rio-necaxa?idiom=es>. Consultado el 24 junio de 2018.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2016b). Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas. De: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/reserva-de-la-biosfera-los-tuxtlas?idiom=es>. Consultado el 07 junio de 2018.

- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2018). Reserva de la Biosfera Calakmul. De: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/reserva-de-la-biosfera-calakmul-157277?idiom=es> Consultado el 07 junio de 2018.
- Silva, D. D., De Marco, P. and Resende, D. C. (2010). Adult odonate abundance and community assemblage measures as indicators of stream ecological integrity: A case study. *Ecological Indicators*. 3(10), 744-752 p.
- Tello, Á. N. y Rodríguez, R. G. (2015). Análisis de Mezclas Espectrales para el estudio de la deforestación y establecimiento de la línea de referencia de emisiones en el marco del programa REDD. Aplicación a la región de San Martín, Perú, 157-160 p,
- Toledo, V. M. (1994). La diversidad biológica de México. Nuevos retos para la investigación de los noventa. *Ciencias*, No. 34, 43-57 p.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales). (2001). Categorías y criterios de la lista Roja de la UICN. Versión 3.1. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales, Oxford, 33 pp.
- USGS (United States Geological Survey) (2017). Descarga de imágenes Landsat. Disponible de: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Consultado el 07 agosto de 2017.
- USGS (United States Geological Survey). (2018). SLC-off Products: Background. Disponible de: https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-7?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con. Consultado el 07 agosto de 2018.
- Vázquez-Torres, S. M., Carvajal-Hernández, C. I. y Aquino-Zapata, A. M. (2010). Áreas Naturales Protegidas. In Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz, vol.1. Patrimonio natural, G. Benítez Badillo y C. Welsh Rodríguez (eds.). Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y de la Revolución Mexicana, Gobierno del Estado de Veracruz/ Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, 249-274 p.
- Vermote, E. F., Tanré, D., Deuze, J. L., Herman, M. and Morcette, J. J. (1997). Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 35(3), 675-686 p.
- Villalobos, I. (2000). Áreas Naturales Protegidas: instrumento estratégico para la conservación de la biodiversidad. *Gaceta Ecológica*, México, Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA), (54), 24-34 p.

Villareal H., Álvarez M., Córdoba S., Escobar F., Fagua G., Gast F., Mendoza H., Ospina M. y Umaña A. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Bogotá, 236 pp.

Zunino, M. y Zullini, A. (2003). Biogeografía: la dimensión espacial de la evolución. Fondo de Cultura Económica, México, 163-164 p.