



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

Evaluación de la efectividad de conservación de Áreas  
Protegidas con base en tasas de cambio y  
deforestación en la Faja Volcánica Transmexicana

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

**P R E S E N T A:**

**María Alejandra Aguilar Tomasini**

**DIRECTOR DE TESIS:  
Dra. Tania Escalante Espinosa**

Ciudad de México

2018





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# Hoja de datos del jurado

## 1. Datos del alumno

Aguilar  
Tomasini  
María Alejandra  
55 18 42 12 03  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
311624490

## 2. Datos del Tutor

Dra.  
Escalante  
Espinosa  
Tania

## 3. Datos del sinodal 1

Dra.  
Iloldi  
Rangel  
Patricia

## 4. Datos del sinodal 2

M. en C.  
García  
Feria  
Yajaira

## 5. Datos del sinodal 3

M. en C.  
Márquez  
Huitzil  
Roberto

6. Datos del sinodal 4

M. en Est. Reg.

Terpán

Acuña

Leobardo

7. Datos del trabajo escrito

Evaluación de la efectividad de conservación de Áreas Protegidas con base en tasas de cambio y deforestación en la Faja Volcánica Transmexicana

62p

2018

# Índice

Agradecimientos.....	5
Introducción.....	6
Justificación .....	16
Objetivos .....	17
Hipótesis .....	18
Método .....	18
Resultados .....	30
Discusión .....	38
Limitaciones y Perspectiva .....	48
Conclusiones .....	49
Bibliografía .....	50
Anexo .....	58

# Agradecimientos

Agradezco a mi asesora, mis sinodales y a todos los profesores del taller de biogeografía de la conservación por el apoyo recibido durante el desarrollo y conclusión de este trabajo.

Agradezco a mi familia: a mi mamá, mi papá, Panchito y Abue Tere por su apoyo, amor y gran interés en mi desarrollo tanto profesional como personal.

A mi tía Ruth por sus muy valiosos consejos, no solo académicos sino también personales.

Agradezco a mis amigos: Brandon, Isaías, Jorge y Eduardo por todo su apoyo y ayuda durante este proceso.

Agradezco a Karla, por todos estos años, por su paciencia y por ayudarme a crecer y a creer en mi. Gracias por tantos logros que hemos conseguido juntas.

Finalmente agradezco a Eduardo, por siempre estar a mi lado y empujarme a lograr mis metas.

Esta investigación fue realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM IN217717 Planeación sistemática de la conservación en la faja volcánica Transmexicana. Agradezco a la DGAPA-UNAM por la beca recibida.

# Introducción

## **Deforestación y uso de suelo**

En la actualidad, el crecimiento desmedido de la población y el incremento de distintas actividades humanas como agricultura, minería, ganadería y urbanización ha ocasionado graves daños y amenazas a los ecosistemas y a los servicios ecosistémicos que proveen (Mendoza-Hernández *et al.*, 2013). Existen tres procesos que son, en su mayoría, los principales causantes de las transformaciones en los ecosistemas terrestres: a) cambios en la cobertura vegetal (e. g. urbanización y deforestación), b) degradación del suelo y c) intensificación del uso del suelo (Lambin, 1997).

El uso de suelo es una clasificación socioeconómica de actividades como la agricultura y las áreas de protección, entre otras, y sus modificaciones se consideran como cambios y transformaciones ambientales (Pascual-Aguilar, 2004), por lo que el Cambio de Uso de Suelo (CUS) puede ser definido como un cambio antropogénico en el uso o manejo de la tierra (Plassmann, 2018). El estudio de los cambios en la cobertura y uso de suelo permite conocer los efectos y tendencias de los procesos de deforestación y pérdida de biodiversidad entre otros (Farfán *et al.*, *en prensa*).

La deforestación se define como la disminución de la cubierta arbórea por abajo del 10%- 30% de zonas forestales con un tamaño mínimo de 0.05-1 ha, la cual es inducida directamente por actividades humanas (UNFCCC, 2001). Algunas de las principales causas de la deforestación son: el cambio de uso de suelo por la expansión urbana, las políticas públicas que fomentan el aumento de la producción agropecuaria y ganadera, la tala ilegal de bosques y sobre-explotación de los mismos, enfermedades y plagas e incendios forestales

(Hughes *et al.*, 2000; Geist & Lambin, 2002; Perevochtchikova *et al.*, 2015).

La pérdida de bosques y selvas, debido a las crecientes tasas de deforestación y cambio de uso de suelo a lo largo de los años, es un tema delicado. El disminuir la cobertura vegetal de un área se traduce en consecuencias negativas, entre las que resalta la reducción y desaparición del hábitat natural, lo cual lleva a la pérdida de la abundancia y diversidad de especies o incluso en ocasiones extremas, a la extinción de estas (Lambin, 1997; Torres-Rojo & Flores-Xolocotzi, 2001; Plassmann, 2018). La deforestación promueve además procesos de erosión y degradación del suelo y disminución en la captación de agua, es decir, modificación en la infiltración y evapotranspiración del suelo. Por otro lado, disminuye los servicios ecosistémicos que suministra el bosque tales como servicios de provisión, de regulación, culturales y de soporte, generando también impactos de carácter socioeconómico (Bishop & Landell-Mills, 2003; FAO, 2012; Perevochtchikova *et al.*, 2015).

La deforestación es uno de los principales factores que influyen negativamente en la conservación de la biodiversidad, teniendo graves efectos sobre los patrones de distribución de las especies, en algunos casos generando la pérdida de hábitat en grandes porcentajes y llevando a la extinción de biotas únicas (Sánchez-Cordero *et al.*, 2009). El conocimiento de los efectos y causas de los procesos de deforestación y pérdida de la biodiversidad con base en el estudio de los cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo es fundamental para promover la eficiencia de la planeación de la conservación (López, 2012).

Las actividades antropogénicas han resultado en una pérdida de biodiversidad con un ritmo sin precedente, mientras los recursos para la conservación de la biodiversidad se mantienen limitados en términos tanto de la capacidad humana como financiera (Wu *et al.*, 2014). Los procesos socioeconómicos antiguos y recientes han generado degradación

ecológica en el territorio nacional: la ganadería extensiva, la intensificación agrícola, el crecimiento urbano desorganizado y en general la aplicación de modelos tecnológicos inadecuados para la diversidad natural del país (Sánchez-Aguilar & Rebollar-Domínguez, 1999; López, 2012;). Estos procesos se han acelerado a partir de la segunda mitad del siglo XX, en el contexto agropecuario, procesos de urbanización formal e informal y de la rápida expansión demográfica (Muñoz *et al.*, 2003; López, 2012). La ganadería y la agricultura han determinado las transformaciones ambientales más importantes en el espacio rural de México y del mundo que se ha traducido en una deforestación tan costosa en términos ecológicos como cuestionable respecto a la redituabilidad social, lo cual tuvo como resultado el abuso de los recursos naturales y el deterioro ecológico (Sánchez-Aguilar & Rebollar-Domínguez, 1999).

En las últimas décadas, el aumento del desarrollo económico y poblamiento del territorio llevaron a perturbaciones significativas en los ecosistemas, como erosión del suelo y deforestación, las cuales generaron una creciente preocupación a nivel nacional y el reconocimiento del valor que tiene la biodiversidad, además de la importancia en el mantenimiento de los servicios ecosistémicos que son necesarios para el bienestar humano (Pisanty *et al.*, 2016). Lo anterior conllevó a que el gobierno tomara acciones para atender a estos disturbios estableciéndose metas, las cuales, para ser alcanzadas se desarrollaron varios instrumentos de política ambiental, entre los que destacan la consolidación de las áreas protegidas (AP), la planeación ambiental, los ordenamientos ecológicos del territorio (OET), la evaluación de impacto ambiental y las normas oficiales mexicanas en materia ambiental (NOM), entre otros (Pisanty *et al.*, 2016). Todos estos instrumentos fueron regulados e implementados a través de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología en la década de 1980 (Sedur; Pisanty *et al.*, 2016) y a través de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos

Naturales (Semarnat) en la actualidad.

Sin embargo, México carece de estrategias consistentes para la conservación de la diversidad. Las políticas enfocadas a la conservación no toman en cuenta las distintas categorías de manejo que existen y casi en ningún caso a la población que habita dentro las áreas protegidas para realizar los planes de manejo de los recursos naturales (en los casos de las categorías de manejo que es permitido) (Pineda- *et al.*, 2017). Además, solo el 13% de los bosques mexicanos son usados para la conservación de la biodiversidad (López-García & Alcántara-Ayala, 2012).

### **Áreas Protegidas**

Las áreas protegidas como reservas naturales, parques nacionales, corredores biológicos y áreas de conservación marina son la herramienta principal de las políticas de conservación *in situ* de la naturaleza y se están incrementando en una escala mundial (Nelson, 1997; Pisanty *et al.*, 2016). Estas reservas son vistas como lugares para proteger ecosistemas de gran relevancia, paisajes, flora, fauna, recursos hídricos y otros recursos con fines de conservación, educación, ciencia y recreación (Nelson, 1997). En las áreas protegidas se conserva el patrimonio natural de las naciones y deben ser consideradas un bien público (Carabias, 2003).

En México, un Área Protegida (AP), es una porción del territorio nacional, terrestre o acuática, representativa de los diferentes ecosistemas en donde el ambiente original no ha sido modificado en su esencia por la actividad del hombre y que está sujeta a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo (Semarnap, 1996). En nuestro país, hay diferentes categorías de manejo para las AP, las cuales son: reservas de la biósfera, parques nacionales, monumentos naturales, áreas de protección de recursos

naturales, áreas de protección de flora y fauna, santuarios y áreas destinadas voluntariamente a la conservación (Conanp, 2016; Pisanty *et al.*, 2016).

Uno de los principales instrumentos de la política ambiental en México es el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). México cuenta con 177 AP decretadas, las cuales cubren el 11% del territorio nacional (Conanp, 2016) y que en general, ha demostrado ser efectivo para prevenir el cambio de uso de suelo y para la conservación *in situ* de ecosistemas naturales y su biodiversidad (Carabias, 2003; Figueroa & Sánchez-Cordero, 2009; Figueroa *et al.*, 2011; Morales *et al.*, 2016, Conanp, 2016). Sin embargo, solamente 61 de estas 177 áreas decretadas cumplen con las características necesarias para estar registradas en el SINAP entre las cuales resaltan: (1) riqueza de especies, (2) presencia de endemismos, (3) presencia de especies de distribución restringida, (4) diversidad de ecosistemas presentes, (5) integridad funcional de los ecosistemas, (6) importancia de los servicios ambientales generados, y (7) viabilidad social para su preservación (Conanp, 2016).

El Estado como responsable del interés público, actuando por medio de las secretarías de gobierno y de las instituciones de conservación específicas debe ser el responsable de la regulación, control y planeación dentro del marco de políticas públicas en material de áreas protegidas (Carabias, 2003). Además, las AP son una de las principales formas de planeación ambiental y juegan un rol fundamental para el desarrollo sustentable ya que proveen de servicios ecosistémicos los cuales es necesario mantener y asegurar para alcanzar el mismo protegidas (Carabias, 2003).

Los objetivos de las áreas protegidas se han vuelto cada vez más diversos debido a la participación de más partes interesadas y marcos institucionales complejos (Aubertin, 2010). Algunos de los objetivos para establecer un AP son el preservar los ambientes naturales, así

como la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos, además de salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres, asegurar la preservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad, entre otros (Nelson, 1997). Para asegurar el cumplimiento de dichos objetivos, las principales herramientas utilizadas son los programas de manejo y los programas operativos anuales entre muchos otros (Pisanty *et al.*, 2016).

A pesar de que legalmente existen estas áreas destinadas a la conservación y que 104 de las 177 áreas cuentan con un plan de manejo publicado, debido a diversos procesos socioecológicos además de la falta de seguimiento de las áreas decretadas, no siempre se cumplen los objetivos de conservación, ni se asegura la efectividad de estas zonas (Carabias, 2003; Perevochtchikova *et al.*, 2015; Pisanty *et al.*, 2016). En muchos casos, los procesos de deterioro de la vegetación son mayores dentro de las AP que en las zonas circundantes no protegidas (Sánchez-Cordero, *et al.*, 2009).

### **Evaluando la efectividad de la conservación**

Existe un creciente interés por evaluar las AP para asegurar una representación adecuada de la biodiversidad y asegurar una fuerte capacidad de la conservación a largo plazo basada en la planeación sistemática de la conservación (Margules & Presley, 2000). Por esta razón se han realizado estudios para evaluar la efectividad de diversas áreas de conservación en México, ya que al ser uno de los instrumentos de gestión de mayor relevancia, permite a las instituciones y a la sociedad civil saber si los esfuerzos de conservación han sido adecuados o si es necesario cambiar las estrategias de manejo de un área (Pisanty *et al.*, 2016).

Un AP se considera efectiva cuando asegura una adecuada representatividad de la biodiversidad de la zona y una fuerte capacidad de conservación a largo plazo (Margules y

Presley, 2000). La evaluación de la efectividad de las AP se ha realizado desde tres perspectivas distintas: la efectividad del diseño, la efectividad del manejo y la evaluación de la integridad ecológica (Figueroa *et al.*, 2011). Para fines de este trabajo, se utilizó la efectividad con base en la integridad ecológica, la cual implica un análisis cuantitativo, a través de indicadores, de la capacidad que tienen las AP para asegurar la persistencia de los sistemas que protegen a lo largo del tiempo, esto puede ser con base en el estado de conservación de la vegetación mediante la evaluación de cambios de uso de suelo (Figueroa *et al.*, 2011).

Los procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación (CUSV) se utilizan comúnmente para evaluar la integridad ecológica, debido a su magnitud global y a su relación con otros procesos de deterioro, como la pérdida de diversidad biológica, el cambio climático, la degradación del suelo y la pérdida de servicios ecosistémicos; asimismo, tienen la capacidad de inducir la modificación de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Figueroa *et al.*, 2011).

Según Figueroa *et al.* (2011), podemos clasificar las AP en efectivas, poco efectivas y no efectivas, con base en sus porcentajes en las tasas de deforestación. Un área efectiva presentará tasas de deforestación menores a las de zonas fuera de esta; en cambio, si un área es poco efectiva, ésta presentará mayores o iguales tasas de deforestación que las áreas aledañas a la misma.

### **Faja Volcánica Transmexicana**

La Faja Volcánica Transmexicana (FVT) constituye una expresión fisiográfica de 959 km de longitud y 50-150 km de situada a lo largo de los paralelos 19° y 20° de latitud norte (Morrone,

2005). La altitud predominante está entre los 1,500 y 2,500 m.s.n.m., sobresaliendo 13 de los 15 picos con más de 3,660 m.s.n.m. que hay en el país, y de estos las tres elevaciones más altas que son el Pico de Orizaba, Iztaccíhuatl y Popocatepetl, los cuales han sido asociados a la subducción de las Placas de Cocos y de Rivera, a lo largo de la trinchera centroamericana (Torres & Luna, 2006; Barrera-Moreno *et al.*, 2011). De acuerdo a Morrone (2005), esta provincia biogeográfica forma parte de la Zona de Transición Mexicana, la cual es definida como un área compleja y variada donde se superponen elementos bióticos neotropicales y neárticos.

Como se muestra en la *Figura 1*, esta provincia se ubica en la zona centro de México, en los estados de Guanajuato, Ciudad de México, Estado de México, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Puebla, Oaxaca, Tlaxcala y Veracruz (Morrone, 2005). Esta provincia comenzó a desarrollarse durante el Oligoceno, pero su configuración actual finalizó hasta el Holoceno (Morrone, 2005).

### Ubicación de la Faja Volcánica Transmexicana

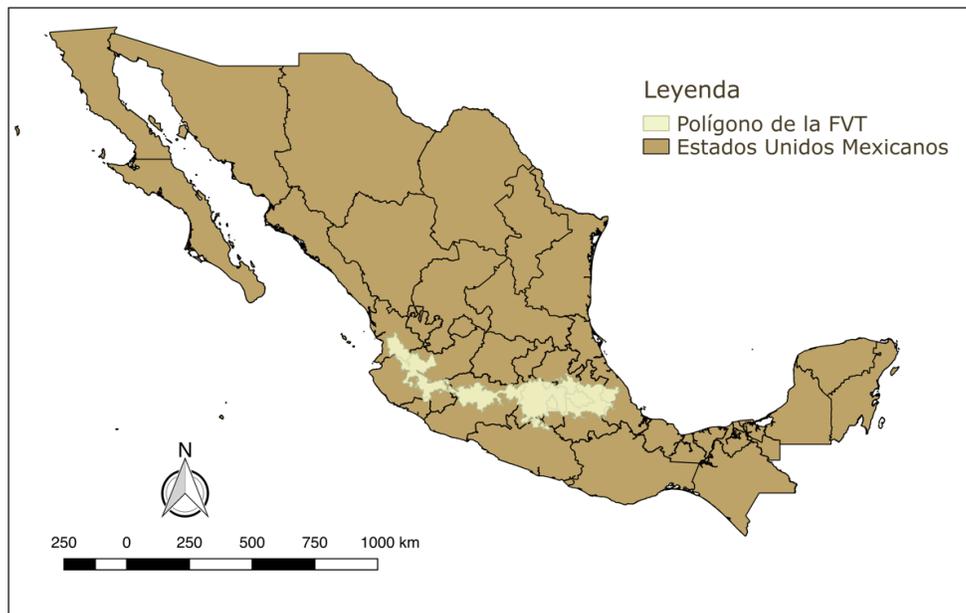


Figura 1. Ubicación de la Faja Volcánica Transmexicana (Morrone, 2017).

Debido a la variedad de tipos de vegetación, climas y heterogeneidad del terreno donde se encuentra, la FVT presenta una elevada riqueza de especies de mamíferos y una gran cantidad de endemismos (Barrera-Moreno *et al.*, 2011).

En cuanto a la vegetación, predominan los bosques de coníferas (31%) y de pino-encino (28%); el resto del área está compuesto por “zacatonales” o pastizales alpinos cerca de la cima de los grandes volcanes, matorrales, bosques mesófilos (cerca de las cañadas), vegetación ribereña, tierras urbanas y tierras de cultivo (Espinosa *et al.*, 2008). La presencia de climas áridos en ocasiones se debe a derrames lávicos, en los cuales no se retiene la humedad de las lluvias o al efecto de la sombra pluvial (Espinosa *et al.*, 2008).

Entre los géneros de plantas más frecuentes se destacan *Achillea*, *Alchemilla*, *Arenaria*, *Cerastium*, *Geranium*, *Hintonella*, *Lupinus*, *Microspermum*, *Omitelia*, *Peyritschia*, *Pinus*, *Quercus*, *Ranunculus* y *Salvia* (Morrone, 2005). Los taxones endémicos de esta provincia, en su mayoría, están distribuidos en áreas con mayor integración histórica y ecológica y de menor extensión (Espinosa *et al.*, 2008). En el *Cuadro 1* se enlistan los taxones endémicos de la FVT:

Cuadro 1. Especies endémicas de la FVT. Modificado de Morrone, (2014):

<b>MAGNOLIOPHYTA</b>	Asteraceae	<i>Montanoa frutescens</i>
<b>ARTHROPODA</b>	Buprestidae	<i>Acmaeodera cuprina</i> , <i>A. rubronotata</i> , <i>Agaeocera gigas</i> , <i>Agrilus balaenicaudus</i> , <i>A. carissimus</i> , <i>A. cavatus</i> , <i>A. funestus</i> , <i>A. fuscillatus</i> , <i>A. ixcuinae</i> , <i>A. nodifrons</i> , <i>A. scabrosus</i> , <i>Cinyra uniformis</i> , <i>Cyphothorax palleolatus</i> , <i>Chrysobothris capitata</i> , <i>C. melazona</i> , <i>C. merkelii</i> , <i>C. stellifera</i> , <i>Lampetis chalconota</i> , <i>L. granulifera</i> , <i>Taphrocerus orizabae</i> , <i>Tetragonoschema humeralis</i>
	Ceratopogonidae	<i>Culicoides albomaculata</i> , <i>C. bakeri</i> , <i>C. dampfi</i>
	Formicidae	<i>Polybia simillina</i>
	Myrididae	<i>Mydas oaxacensis</i>
	Passalidae	<i>Odontotaenius cuspidatus</i>
	Scarabaeidae	<i>Golofa globulicornis</i> <i>Onthophagus hippopotamus</i>
<b>VERTEBRATA</b>	Cricetidae	<i>Neotoma nelsoni</i> , <i>Peromyscus aztecus hyllocetes</i> , <i>P. gratus gratus</i> , <i>P. leucotus</i> , <i>P. mekisturus</i> , <i>P. melanophrys zamorae</i> , <i>Reithrodontomys chrysopsis</i>
	Crotalidae	<i>Crotalus polysticus</i>
	Didelphidae	<i>Marmosa canescens oaxaca</i>
	Eleutherodactylidae	<i>Eleutherodactylus angustidigitorum</i>
	Fringillidae	<i>Geothlypis speciosa</i>
	Leporidae	<i>Romerolagus diazi</i> <i>Sylvilagus floridanus aztecus</i> , <i>Phrynosoma orbiculare cortezi</i> , <i>Sceloporus dugesi intermedius</i> , <i>S. scalaris scalaris</i>
	Phrynosomatidae	<i>Spermophilus mexicanus mexicanus</i> , <i>S. perotensis</i>
	Sciuridae	<i>Cryptotis goldmani alticola</i> , <i>Sorex vagrans orizabae</i>
	Soricidae	
	Trochilidae	<i>Lampornis amethystinus brevisrostris</i>

La FVT no solamente destaca por su alto contenido de especies de plantas, sino que también presenta un alto número de especies endémicas (Morrone, 2005). En México existen 2,804 géneros de plantas vasculares (Morrone, 2005) de los cuales 1,348 (48.1%) se registran en la FVT (Morrone, 2005). Estos géneros se distribuyen en diferentes tipos de vegetación que se encuentran en la FVT; entre los principales se encuentran los bosques de pino, de encino, de oyamel, los tropicales caducifolios, el húmedo de montaña y el pastizal (Suarez *et al.*, 2013).

La FVT presenta una riqueza excepcional de algunos grupos de plantas. Por ejemplo, está documentado que existen más especies del género *Sedum* en dicha provincia que en cualquier otra parte de América del Norte (Suarez *et al.*, 2013). Otro ejemplo es el género *Quercus*, del que se han reportado 75 de sus especies dentro de los estados que conforman la FVT, cifra que corresponde a 46% del total de las especies reportadas en México (Suarez *et al.*, 2013). Un tercer ejemplo es el género *Pinus*, que forma parte de los géneros que tienen en México uno de sus principales centros de diversificación (Suarez *et al.*, 2013).

## Justificación

En México, los esfuerzos para fortalecer la protección de los ecosistemas han sido significativos pero insuficientes, por lo que existe una urgente necesidad de ajustar políticas, marcos legales, instrumentos de planeación y manejo, y marcos institucionales existentes, así como desarrollar y fortalecer nuevos procesos participativos de comunicación y conciencia pública (Carabias, 2003).

Los procesos de degradación ocurren generalmente debido a las pocas posibilidades económicas de algunas ciudades con altos niveles de pobreza, donde la escasez de tierras para el cultivo de alimentos y la demanda de hogar ocasiona que la población afectada realice talas clandestinas y deforestación para asentamientos poblacionales ilegales de las zonas boscosas (Mendoza-Hernández *et al.*, 2011).

Según Perevochtchikova *et al.* (2015), los bienes y servicios que proporcionan las AP para las grandes ciudades localizadas dentro de la FVT, son los bienes maderables, los servicios ecosistémicos como la captura de carbono, regulación climática, generación de oxígeno, los servicios hídricos, como el mantenimiento de recarga de acuíferos, calidad del

agua, reducción de caudales durante eventos extremos de precipitación, filtración; los de biodiversidad y paisaje como el mantenimiento de las dinámicas ecológicas dentro de este ecosistema, resiliencia del mismo, restauración ecológica y conservación de hábitat de especies endémicas y de distribución restringida.

En un estudio realizado en 2007 por Escalante *et al.*, se encontró que algunas especies de mamíferos (*e.g. Corynorhinus mexicanus* y *Megadontomys nelsoni*) modificaron sus áreas de distribución dentro de la FVT cuando ocurren cambios en la cobertura vegetal. Esto implica que, si los procesos de deforestación continúan, muchos patrones naturales de distribución de las especies pueden llegar a desaparecer, debido a la pérdida del hábitat y conectividad.

La FVT presenta una alta expansión de las actividades humanas, siendo uno de los principales problemas ambientales (Torres & Luna, 2006). Por esto es fundamental tener seguimiento y evaluación de las áreas protegidas, además de conocer los procesos de deforestación para poder mitigarlos. Esta evaluación puede realizarse en función de la eficiencia de conservación (Figuroa *et al.*, 2008, 2010, 2011). Con base en este argumento, este proyecto está enfocado a la evaluación de la integridad ecológica enfocada en el criterio de conservación de la vegetación y grado de deforestación de las AP contenidas en la FVT, mediante la aplicación de tasas de cambio y deforestación.

## Objetivos

### **Objetivo general**

Analizar los procesos de deforestación y cambio de uso de suelo dentro de las áreas protegidas federales que se encuentran en la Faja Volcánica Transmexicana, así como en zonas

aledañas a dichas áreas.

### **Objetivos particulares**

- Analizar los procesos de deforestación dentro de las áreas protegidas de la Faja Volcánica Transmexicana entre los años 2002-2011
- Estimar las tasas de cambio de uso de suelo dentro de las áreas protegidas
- Evaluar la efectividad de conservación de dichas áreas protegidas con base en la porción de cobertura vegetal que conservan.
- Evaluar como caso de estudio, al Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl aplicando un análisis más detallado.

### **Hipótesis**

Si las áreas protegidas dentro de la FVT son efectivas, éstas presentarán menores tasas de cambio de uso de suelo en comparación con su contexto geográfico. El

Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl ha mostrado ser eficiente en estudios anteriores, por lo que se espera que lo continúe siendo.

## **Material y Métodos**

### **Áreas de estudio**

El área de estudio comprende las áreas protegidas federales enlistadas en el *Cuadro 2*, las cuales fueron elegidas con base en la cobertura que estuviera representada dentro de la FVT, por

lo que las áreas que tienen más de 50% de su superficie fuera del polígono de la FVT fueron excluidas. Adicionalmente sólo fueron consideradas dentro de este estudio las AP que estuvieran registradas en el SINAP, por lo que solo 18 AP fueron seleccionadas. En el *Cuadro*

*Cuadro 2. Áreas Protegidas a evaluar en la FVT*

CATEGORÍA	NOMBRE
A	
APFyF	Ciénegas de Lerma
APFyF	Chichinautzín
APFyF	El Jabalí
APFyF	Nevado de Toluca
APFyF	Sierra de Quila
APFyF	ZPFTCC de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc, y Temascaltepec
PN	Bosencheve
PN	Cofre de Perote
PN	El Tepozteco
PN	Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla
PN	Iztaccíhuatl-Popocatepetl
PN	La montaña Malinche Matlacuayatl
PN	Lagunas de Zempoala
PN	Pico de Orizaba
PN	Pico de Tancítaro
PN	Volcán nevado de Colima
RB	La primavera
RB	Mariposa monarca

2, la columna izquierda corresponde al tipo de categoría de AP que tienen asignada, siendo Parques Nacionales (PN), Reservas de la biósfera (RB), Áreas de Protección de Flora y Fauna (APFyF) y Áreas de Protección de Recursos Naturales (APRN), mientras que la columna derecha corresponde al nombre de cada AP. En la *Figura 2*, se muestran los polígonos de las AP que se encuentran en la FVT considerados para este estudio.

## Áreas Protegidas de la Faja Volcánica Transmexicana

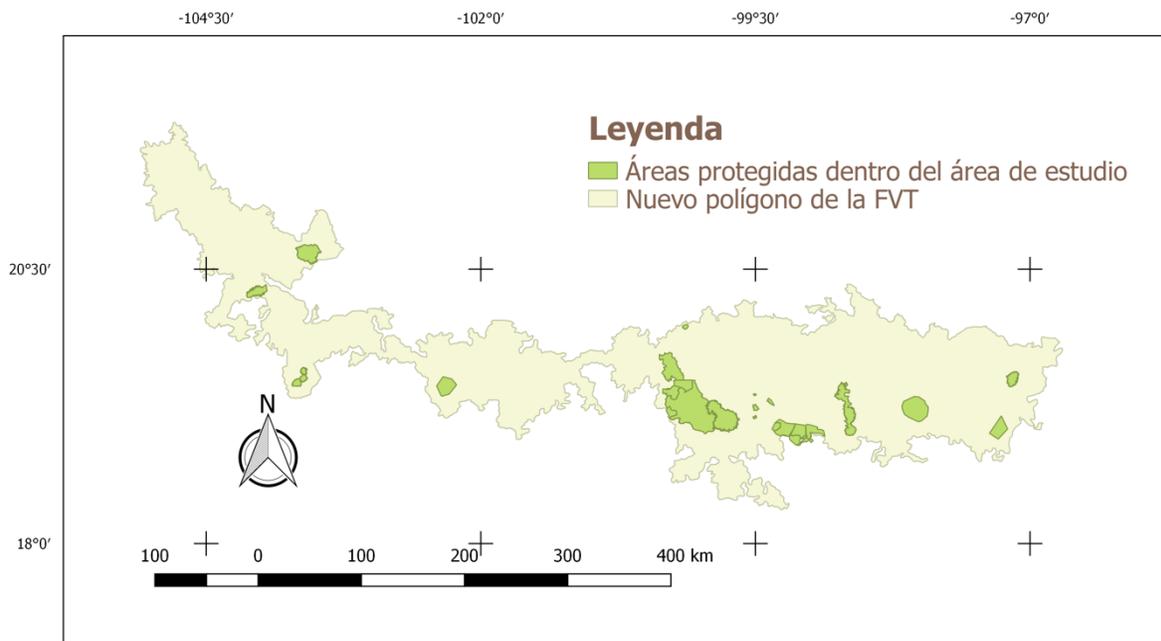


Figura 2. Mapa de las áreas protegidas a evaluar en la FVT.

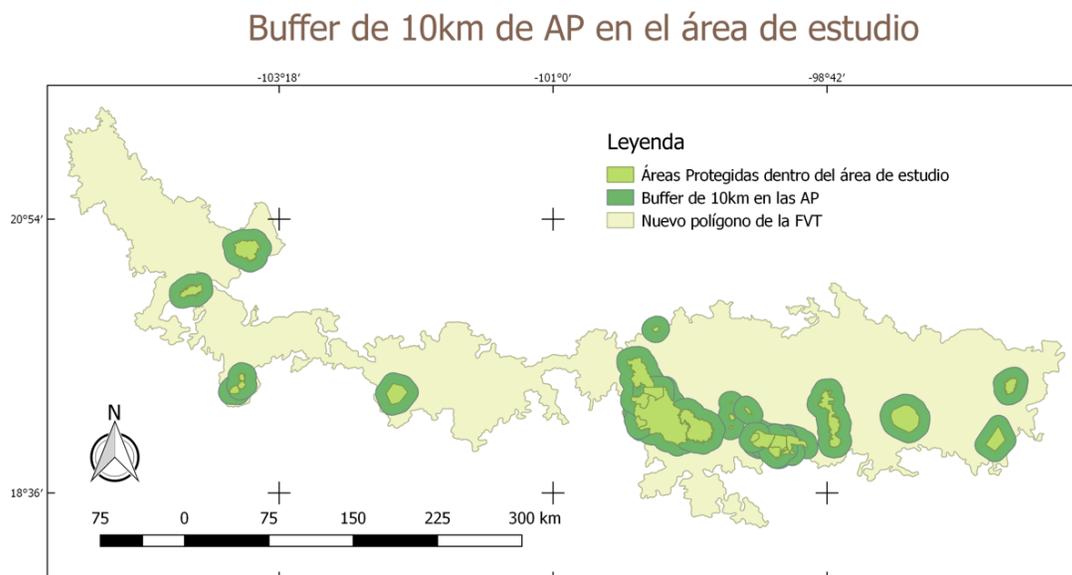
### Cartografía y Análisis de Cobertura de Suelo

La pérdida de cobertura vegetal puede medirse utilizando imágenes satelitales y análisis espaciales. La tasa de cambio anual se calcula con base en la comparación del área con cobertura vegetal en la misma región en dos tiempos diferentes (Puyravaud, 2003). Con base en lo anterior, se utilizó como guía la metodología propuesta por Figueroa *et al.* (2011).

Para estos análisis se utilizaron las Series III, IV y V de INEGI, escala 1:250 000, correspondientes a los años 2002, 2007 y 2011 respectivamente (INEGI 2005, 2009 y 2015), como insumos cartográficos, y SIG (Sistemas de Información Geográfica) para procesar y visualizar la información obtenida. Las AP se obtuvieron del mapa de áreas naturales protegidas federales (CONANP & CONABIO, 2016). Los análisis geográficos fueron desarrollados en QGIS Desktop 2.14.2 (QGIS Development Team, 2016).

Como primer paso fue necesario construir el área circundante o *buffer* a cada AP, para lo cual se trazó un área circundante de 10 km de ancho (siguiendo la metodología de Figueroa *et al.*, 2011, con el fin de hacer comparable dicho trabajo con la presente tesis) a partir del límite de cada AP. El *buffer* fue construido para analizar los procesos de CUSV fuera de las AP y compararlos con los procesos que ocurrieron dentro de las mismas, esto con el fin de evaluar si las AP fueron más efectivas en conservar su cobertura vegetal en comparación con su contexto geográfico.

Dado que dos AP (CB Chichinautzin y RB Mariposa Monarca) tienen cierto porcentaje (menor al 30%) de su superficie fuera de la FVT, fue necesario modificar el polígono de la FVT para que el *buffer* fuera de 10 km exactos desde los límites de dichas áreas. En la *Figura 3* se observan los *buffers* de cada una de las AP que fueron analizadas.



*Figura 3.* Buffer de las Áreas Protegidas en la FVT

Una vez delimitada la zona circundante o *buffer* de las AP, se identificaron los distintos tipos de vegetación y usos de suelo que existen dentro de estas áreas, con base en las cartas

de uso de suelo y vegetación de INEGI.

Las series de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI muestran la distribución de la vegetación natural e inducida y la localización de las áreas dedicadas a la ganadería; se representan los diferentes tipos de vegetación y las áreas de uso agrícola, pecuario y forestal (INEGI, 2015). La información de las series se obtiene a partir de la aplicación de técnicas de fotointerpretación con imágenes de satélite Landsat TM5 seleccionadas (INEGI, 2015). Esta interpretación está apoyada con trabajos de campo, contienen la ubicación, distribución y extensión de diferentes comunidades vegetales y usos agrícolas con sus respectivas variantes en tipos de vegetación, de usos agrícolas, e información ecológica relevante (INEGI, 2015).

Dado que la metodología que se siguió para la elaboración de las Series de INEGI fue distinta en cada una, las series presentan distintos niveles de agregación, por lo que fue necesaria una homologación de las distintas categorías de Uso de Suelo y Vegetación (USV) para así hacer las series comparables. Sólo se usaron tipos de vegetación con los estados de agregación más amplios, basados en la Serie IV. Las categorías con estados de agregación particulares fueron incluidas en las más amplias. Los tipos de uso de suelo y vegetación identificados para la FVT y su área circundante son los enlistados en el *Cuadro 3*.

*Cuadro 3.* Homologación de las cartas de uso de suelo y vegetación de INEGI (2005, 2009 y 2015).

	<b>SERIE V</b>	<b>SERIE IV</b>	<b>SERIE III</b>
<b>AGRICULTURA</b>	AGRICULTURA DE HUMEDAD SEMIPERMANENTE	AGRICULTURA DE HUMEDAD	AGRICULTURA DE HUMEDAD
	AGRICULTURA DE HUMEDAD ANUAL	AGRICULTURA DE RIEGO	AGRICULTURA DE RIEGO
	AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL	AGRICULTURA DE TEMPORAL	AGRICULTURA DE TEMPORAL

	<p>AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y PERMANENTE</p> <p>AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y SEMIPERMANENTE</p> <p>AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL</p> <p>AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y PERMANENTE</p> <p>AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y SEMIPERMANENTE</p> <p>AGRICULTURA DE TEMPORAL PERMANENTE</p> <p>AGRICULTURA DE TEMPORAL SEMIPERMANENTE</p>		
<b>ASENTAMIENTOS HUMANOS</b>	ASENTAMIENTOS HUMANOS	ASENTAMIENTOS HUMANOS	ASENTAMIENTOS HUMANOS
<b>BOSQUE CULTIVADO</b>	BOSQUE CULTIVADO	BOSQUE CULTIVADO	BOSQUE CULTIVADO
<b>BOSQUE DE CEDRO</b>	BOSQUE DE CEDRO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE CEDRO	BOSQUE DE CEDRO	BOSQUE DE CEDRO
<b>BOSQUE DE ENCINO</b>	<p>BOSQUE DE ENCINO</p> <p>VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE ENCINO</p> <p>VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO</p>	BOSQUE DE ENCINO	<p>BOSQUE DE ENCINO</p> <p>BOSQUE DE ENCINOARBOREA</p> <p>BOSQUE DE ENCINOARBUSTIVA</p>
<b>BOSQUE DE ENCINO-PINO</b>	<p>BOSQUE DE ENCINO-PINO</p> <p>VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO</p> <p>VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO</p>	BOSQUE DE ENCINO-PINO	<p>BOSQUE DE ENCINO-PINO</p> <p>BOSQUE DE ENCINO-PINO ARBUSTIVA</p> <p>BOSQUE DE ENCINO-PINO ARBOREO</p>
<b>BOSQUE DE GALERÍA</b>	BOSQUE DE GALERÍA	BOSQUE DE GALERÍA	BOSQUE DE GALERÍA
<b>BOSQUE DE MEZQUITE</b>	<p>BOSQUE DE MEZQUITE</p> <p>VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE MEZQUITE</p>	BOSQUE DE MEZQUITE	MEZQUITAL

<b>BOSQUE DE OYAMEL</b>	BOSQUE DE OYAMEL VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE OYAMEL VEGETACION SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE OYAMEL	BOSQUE DE OYAMEL	BOSQUE DE OYAMEL BOSQUE DE OYAMEL ARBOREA BOSQUE DE OYAMEL ARBUSTIVA
<b>BOSQUE DE PINO</b>	BOSQUE DE PINO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE PINO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO	BOSQUE DE PINO	BOSQUE DE PINO BOSQUE DE PINO ARBOREA BOSQUE DE PINO ARBUSTIVA BOSQUE DE PINO HERBÁCEO
<b>BOSQUE DE PINO-ENCINO</b>	BOSQUE DE PINO-ENCINO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO	BOSQUE DE PINO-ENCINO	BOSQUE DE PINO-ENCINO BOSQUE DE PINO-ENCINO ARBOREA BOSQUE DE PINO-ENCINO ARBUSTIVA
<b>BOSQUE DE TASCATE</b>	BOSQUE DE TASCATE VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBOREA DE BOSQUE DE TASCATE VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE TASCATE VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE TASCATE	BOSQUE DE TASCATE	BOSQUE DE TASCATE BOSQUE DE TASCATE ARBOREA BOSQUE DE TASCATE ARBUSTIVA BOSQUE DE TASCATE HERBACEA
<b>BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA</b>	BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA BOSQUE MESOFILO DE MONTANA ARBOREA BOSQUE MESOFILO DE MONTANA ARBUSTIVA BOSQUE MESOFILO DE MONTANA HERBACEO
<b>CHAPARRAL</b>	CHAPARRAL	CHAPARRAL	CHAPARRAL

<b>CUERPO DE AGUA</b>	CUERPO DE AGUA	CUERPO DE AGUA	CUERPO DE AGUA
<b>DESPROVISTO DE VEGETACIÓN/ SIN VEGETACIÓN APARENTE</b>	DESPROVISTO DE VEGETACIÓN SIN VEGETACION APARENTE	DESPROVISTO DE VEGETACIÓN SIN VEGETACION APARENTE	DESPROVISTO DE VEGETACIÓN SIN VEGETACION APARENTE
<b>MATORRA CRASICAULE</b>	MATORRAL CRASICAULE VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL CRASICAULE	MATORRAL CRASICAULE	MATORRAL CRASICAULE ARBUSTIVA MATORRAL CRASICAULE
<b>MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO</b>	MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO	MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO	MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO
<b>PALMAR INDUCIDO</b>	PALMAR INDUCIDO	PALMAR INDUCIDO	PALMAR INDUCIDO
<b>PASTIZAL CULTIVADO</b>	PASTIZAL CULTIVADO	PASTIZAL CULTIVADO	PASTIZAL CULTIVADO
<b>PASTIZAL HALÓFILO</b>	PASTIZAL HALÓFILO	PASTIZAL HALÓFILO	PASTIZAL HALÓFILO PASTIZAL NATURAL
<b>PASTIZAL INDUCIDO</b>	PASTIZAL INDUCIDO	PASTIZAL INDUCIDO	PASTIZAL INDUCIDO
<b>PRADERA DE ALTA MONTAÑA</b>	PRADERA DE ALTA MONTAÑA	PRADERA DE ALTA MONTAÑA	PRADERA DE ALTA MONTAÑA
<b>SABANOIDE</b>	SABANOIDE	SABANOIDE	SABANOIDE
<b>SELVA BAJA CADUCIFOLIA</b>	SELVA BAJA CADUCIFOLIA VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA	SELVA BAJA CADUCIFOLIA	SELVA BAJA CADUCIFOLIA SELVA BAJA CADUCIFOLIA ARBOREA SELVA BAJA CADUCIFOLIA ARBUSTIVA
<b>SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA</b>	SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA	SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA	SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA
<b>SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA</b>	SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA	SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA	SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA ARBOREA SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA ARBUSTIVA

<b>SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA</b>	SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA  VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA	SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA	NO EXISTE ESTA CATEGORÍA DE VEGETACIÓN
<b>TULAR</b>	TULAR	TULAR	TULAR
<b>VEGETACIÓN HALÓFILA HIDRÓFILA</b>	VEGETACIÓN HALÓFILA- HIDRÓFILA	VEGETACIÓN HALÓFILA-HIDRÓFILA	VEGETACIÓN HALÓFILA
<b>ZONA URBANA</b>	ZONA URBANA	ZONA URBANA	ZONA URBANA

Posteriormente, se realizó la superposición de mapas y cuantificación de los cambios de cobertura de suelo, detectando las áreas deforestadas (Peralta-Rivero *et al.*, 2015), esto con base en la dinámica de superficies transformadas, a través de la cual se evalúan los procesos de CUSV, como la agricultura, asentamientos humanos o plantaciones forestales (Figuroa *et al.*, 2008). La cuantificación de la extensión ocupada por Superficie Transformada (ST) a lo largo del periodo de estudio se realizó mediante el uso de las cartas del INEGI, incluyendo las series III, IV y V, con el conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación de cada serie, todos en escala 1:250 000.

### **Tasas de cambio y Deforestación**

A continuación se calculó el porcentaje ocupado por superficie transformada (ST) en 2011 y la tasa anual (promedio) de cambio entre 2002-2007, y 2007-2011 mediante el uso de una fórmula sugerida en los estudios de Figuroa *et al.* (2008, 2010 y 2011), para las diferentes coberturas de suelo dentro de las AP y en sus respectivas áreas circundantes.

La fórmula sugerida en los estudios de Figuroa *et al.* (2008, 2010 y 2011), estima la tasa que ha sido transformada anualmente, como el porcentaje del AP, en promedio, durante el periodo de estudio:

$$S = \frac{S_2 - S_1}{St} \cdot t$$

Donde  $S$  es la tasa de cambio;  $S_1$  es la superficie al inicio del periodo;  $S_2$  es la superficie al final del periodo;  $St$  es la superficie total, y  $t$  es tiempo en años. Para expresar los valores en porcentaje, el resultado fue multiplicado por 100 (Peralta-Rivero *et al.*, 2015). Este procedimiento se realizó para cada una de las clases de suelo obtenidas de cada AP así como de sus zonas *buffer*. Una tasa de cambio de ST positiva implica un aumento en la superficie de la misma, mientras que una tasa negativa implica pérdida de ST, es decir, recuperación de la vegetación natural.

Finalmente se caracterizó al área mediante una clasificación en función del porcentaje y de la tasa de cambio de superficie transformada. Con base en el trabajo de Figueroa *et al.* (2011), las clasificaciones para el porcentaje de ST serían: bajo (0-10%), medio (11-25%), alto (26-50%) y muy alto (>50%); y para la tasa de cambio sería: en recuperación (áreas en las que se redujo la ST y, por ende se recuperó una parte de la cobertura vegetal primaria o secundaria), estable (sin cambios observables en la ST, con una tasa de cambio igual a 0), bajo (con un incremento mínimo, menor a la media de la tasa de cambio) y alto (con un incremento mayor a la media de la tasa de cambio).

### **Caso de estudio: Cambio de Uso de Suelo en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl**

Se eligió como caso de estudio al Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, ya que fue considerado de particular importancia al ser parte del área de distribución del teporingo (*Romerolagus diazi*), especie endémica de la FVT que habita entre los 2,800 y 4,250 msnm en

las laderas de estos volcanes (Granados et al., 2004), y ha sido catalogada como especie en peligro de extinción (IUCN, 2017; CITES, 2017). La principal causa de disminución de las poblaciones en esta especie ha sido la pérdida o modificación de hábitat debido a actividades agrícolas, ganaderas e incendios forestales (Granados et al., 2004), por lo que evaluar el estado del hábitat de esta especie es muy relevante para el diseño de estrategias de conservación de la misma.

Para conocer el cambio de categorías de CUSV a lo largo del periodo de estudio se calcularon matrices de probabilidad de cambio de Markov con las transiciones medidas en hectáreas más probables a ocurrir, donde el valor de la diagonal de la matriz indica el número de hectáreas que permanecieron constantes a lo largo del periodo de tiempo (Pontius, *et al.*, 2004) (ver *Cuadro 5*).

Se utilizaron los mismos insumos cartográficos que para los apartados anteriores: series III, IV y V de INEGI, los cuales se encuentran en formato vectorial por lo que tuvieron que ser transformados a formato ráster con una resolución de 90 metros que es la resolución disponible de un modelo digital de elevación. Para este análisis fue necesario un cambio más detallado en la proyección de las series de INEGI, por lo que estas fueron reproyectadas a UTM para posteriormente transformarlas a formato ráster.

Una vez rasterizados los mapas, la matriz de transición se generó mediante el uso de modelos en la plataforma DinamicaEgo v. 4.0.3.0 (DinamicEgo, 2017; Farfán *et al.*, *en prensa*).

### **Índice de efectividad**

El índice de efectividad se obtuvo a partir de tres parámetros: (1) el porcentaje ocupado por superficies transformadas en 2011 en las AP; (2) la tasa de cambio en las superficies

transformadas dentro del área de estudio durante el periodo de estudio; y (3) la diferencia entre la tasa de cambio en la superficie transformada en el área de estudio y la observada en su área circundante (Figueroa *et al.*, 2011). El parámetro (3) sólo adquiere valores de ‘cero’ cuando la ST presenta un mayor incremento dentro del AP en comparación con su área circundante, adquiere el valor de ‘1’ cuando ocurre el caso contrario y ‘0.5’ cuando la ST disminuye dentro y fuera del AP.

Los datos para cada parámetro se estandarizaron a valores entre 0 y 1; donde la suma de los parámetros constituye el índice de efectividad. La estandarización se realizó con base en el método más simple de “*feature scaling*” para variables independientes (Stolcke *et al.*, 2008), que se calcula con la siguiente fórmula:

$$x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

Donde  $x$  es el valor que se está buscando reescalar y  $x'$  es el valor estandarizado. Dado que 1 representa la mayor efectividad y 0 la menor, es necesario obtener la inversa de esta fórmula para que los valores estandarizados verdaderamente representen la escala de efectividad deseada.

Con base en la estandarización, el índice puede tomar valores entre ‘0’ y ‘3’. Si el índice toma valores cercanos a ‘cero’, indicaría baja efectividad del AP, en tanto que si toma valores cercanos a ‘3’ indica mayor efectividad del área (Figueroa *et al.*, 2011).

# Resultados

## **Tasas de Cambio y Deforestación**

El cambio de cobertura vegetal por superficies antrópicas (asentamientos humanos, zonas urbanas, bosque cultivado y pastizales inducidos) está presente en todas las AP y en todos los años excepto en el Volcán Nevado de Colima. El AP Ciénegas de Lerma tuvo el mayor porcentaje de ST al inicio del periodo de estudio (78%) y Bosencheve el mayor porcentaje de ST al final del periodo de estudio (68.3%). La mayoría de las AP tuvieron un porcentaje de ST medio, por lo que su estado de conservación no fue el óptimo: el 39% de las AP tenía menos del 20%; el 17% tenía un porcentaje mayor a 60%, y el restante 44% estaba entre el medio.

Como se muestra en el *Cuadro 4*, la mayoría de las AP presentaron procesos de CUSV, los cuales se mantuvieron relativamente constantes. Sólo se presentan ligeros cambios ya sea de recuperación o de pérdida de la cobertura vegetal, todos con valores cercanos a cero: el 33% de las AP disminuyeron su ST (es decir, aumentó su vegetación primaria), el 50% la aumentaron y el 17% se mantuvo constante.

El periodo de 2002-2007 fue el que presentó las tasas de cambio más altas, siendo Bosencheve con la mayor ganancia de ST (0.761%) y Ciénegas de Lerma la mayor pérdida de ST (-0.621%). El 50% de las AP mostraron un aumento, el 39% pérdida en la ST y el 11% se mantuvo constante.

Por otro lado, el periodo de 2007-2011 se mantuvo con tasas de cambio más constantes; no obstante Ciénegas de Lerma continuó su tendencia a perder superficie transformada, siendo el área que en el total del tiempo de estudio (2002-2011) ganó mayor

Área Protegida	Categoría de Manejo	%ST 2002	%ST 2007	%ST 2011	S1 (%)	S2 (%)
Ciénegas de Lerma	APFyF	78	74.9	60.5	-0.621	-2.408
Chichinautzin	APFyF	34.4	35	34.7	0.129	-0.061
El jabalí	APFyF	44.4	44.4	44.5	0	0.018
Nevado de Toluca	APFyF	33.7	33	32.7	-0.133	-0.053
Sierra de Quila	APFyF	2.1	2.2	2.1	0.007	-0.004
ZPFTCC de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec	PN	46.1	47.8	47.6	0.347	-0.032
Bosencheve	PN	64.6	68.4	68.3	0.761	-0.017
Cofre de Perote	PN	40.5	40.8	40.8	0.059	0.003
El Tepozteco	PN	30.9	30.2	30.3	-0.116	0.003
Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla	PN	32.3	31.9	32	-0.078	0.018
Iztaccíhuatl-Popocatepetl	PN	3.2	3.1	3.1	-0.002	0.001
La Montaña Malinche Matlacuayatl	PN	61	60.6	60.6	-0.088	0
Lagunas de Zempoala	PN	2.6	2.6	2.6	-0.002	0
Pico de Orizaba	PN	11	11.3	11.4	0.056	0.006
Pico de Tancítaro	PN	30.1	31.1	31.2	0.0833	0.007
Volcán Nevado de Colima	PN	0	0	0	0	0
La primavera	RB	6.8	8.7	8.7	0.375	-0.009
Mariposa Monarca	RB	17.1	20	19.8	0.578	-0.042

Cuadro 4. Porcentajes de superficie transformada en 2002,2007 y 2011 de las AP, y tasas de cambio entre

el periodo de 2002-2007 (*S1*) y 2007-2011 (*S2*). Las tasas de cambio con valor negativo representan recuperación de la cobertura vegetal natural, mientras que las positivas representan pérdida de la misma.

cobertura vegetal. Por otro lado, Bosencheve fue el AP que al final del periodo perdió mayor cobertura vegetal, a pesar de tener una tasa de recuperación en 2007-2011. Para este periodo, el 39% de las AP mostraron un aumento, el 45% pérdida en la ST y el 16% se mantuvo constante, siendo La Montaña Malinche, Lagunas de Zempoala y el Volcán Nevado de Colima las AP que no presentaron ningún cambio durante este periodo.

En la mayoría de los casos (Chichinautzin, Sierra de Quila, ZPFTCC de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec, Bosencheve y Mariposa Monarca), se perdió cobertura vegetal durante el primer periodo de tiempo y se recuperó en el segundo.

Sin embargo, dichos procesos de recuperación fueron tan pequeños que no alcanzaron a tener el porcentaje de cobertura vegetal al inicio del periodo de estudio, por lo que en su totalidad ganaron ST.

El estado de conservación de la cobertura vegetal, así como las tasas de cambio de los distintos usos de suelo en las AP analizadas fue muy variado. Para 2011, de los usos de suelo que conforman la ST, el 83% de las AP presentó uso de suelo Agrícola y Pastizales Inducidos, el 28% Asentamientos Humanos, el 17% Bosque Cultivado y el 39% Zonas Urbanas. La ZPFTCC de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec, la Mariposa Monarca y El Tepozteco fueron las AP que presentaron todas las categorías de ST. Cabe resaltar que estos procesos de cambio de uso de suelo no existían o eran muy pequeños en cuanto a superficie en 2002 y fueron aumentando cada vez más para 2007 y 2011. Por ejemplo, en La Primavera, la superficie de Asentamientos Humanos y Zonas Urbanas era mínima en 2002 (ver Anexo) pero para 2011, estas aumentaron con tasas de 0.014% y 0.015% respectivamente.

Por otro lado, el caso de Ciénegas de Lerma también resulta muy interesante, ya que esta AP sólo alberga cuatro categorías de USV, las cuales 3 son ST (Agricultura, Pastizal Inducido y Zona Urbana) y solo una (Tular) es vegetación primaria. Podría parecer a simple vista un área nada efectiva, sin embargo, las tasas de cambio de estos usos de suelo son negativas, es decir, se está perdiendo la ST y se está recuperando la vegetación original con una tasa anual del 2.4077%.

## **Caso de estudio: Cambio de Uso de Suelo en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl**

El análisis realizado para el PN Iztaccíhuatl-Popocatepetl muestra las transiciones que ocurrieron entre un tipo de vegetación y otro para el periodo de tiempo total del estudio, además de cuántas hectáreas permanecieron constantes durante el mismo (*Cuadro 5*). El tipo de vegetación que mantuvo un mayor porcentaje de cobertura durante todo el periodo de tiempo fue el bosque de pino (98%). Solamente la categoría de Bosque de Pino presenta una transición de 19.44 ha hacia la Agricultura, es decir, sólo 19.44 ha, sin embargo, la categoría de Agricultura presenta una transición de 25 ha hacia Bosque de Pino, por lo que al final del periodo se recuperó e incluso se ganó más cobertura de este tipo de vegetación. El pastizal inducido mantuvo la mayor parte de su cobertura entre ambos años. Sólo hubo una pequeña transición (16.2 ha) a bosque de pino. La mayoría de las categorías de vegetación mantienen este patrón de conservar constante su superficie durante todo el periodo. Cabe resaltar que la categoría “Sin Vegetación Aparente” igualmente conserva constante su superficie debido a que, en este caso, es una categoría natural al estar ubicada en la cima del volcán Popocatepetl y del Iztaccíhuatl. Esta categoría solo presenta una ligera transición con Pradera de Alta Montaña al ser el tipo de vegetación adyacente a las cumbres de estos volcanes.

Cuadro 5. Matriz de transición (hectáreas de cambio neto) del PN Iztaccíhuatl-Popocatepetl para el periodo de tiempo de 2002-2011.

		2011								
2002	Categoría	Agricultura	Bosque Cultivado	Bosque de Encino	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque de Pino-Encino	Sin Vegetación Aparente	Pastizal Inducido	Pradera de Alta Montaña
		Agricultura	98.01	0	0	0	25.11	0	0	0
	Bosque Cultivado	0	65.61	0	0	0	0	0	0	0
	Bosque de Encino	0	0	71.28	0	0.81	0	0	0	0
	Bosque de Oyamel	0	0	0	1665.36	22.68	2.43	0	0.81	13.77
	Bosque de Pino	19.44	0.81	0	27.54	24365.61	6.48	12.15	27.54	251.1
	Bosque de Pino-Encino	0	0	0	2.43	0.81	703.89	0	0	0
	Sin Vegetación Aparente	0	0	0	0.81	12.15	0	5131.35	0	59.13
	Pastizal Inducido	0	0.81	0	0.81	16.2	0	0	1018.17	0
	Pradera de Alta Montaña	0	0	0	5.67	168.48	0	76.14	0	5972.13

### Efectividad y Caracterización de las áreas

Para evaluar la efectividad se asignaron tres categorías con base en el índice de efectividad (IE): efectiva ( $IE > 2$ ), poco efectiva ( $IE > 1, < 2$ ), y no efectiva ( $IE < 1$ ). Solo cinco áreas (28%) presentaron IE mayores a '2', el 39% presentó IE entre '1' y '2', y el 33% valores menores a '1' (Cuadro 6), por lo que la mayoría de las AP analizadas muestran, en general, ser poco efectivas para contener los procesos de CUSV. Las áreas más efectivas fueron Volcán Nevado de Colima y Sierra de Quila, en tanto que las menos efectivas fueron El Jabalí y Bosencheve.

Cuadro 6. Efectividad de las AP.

1= porcentaje de superficie transformada en 2013, 2= tasa de cambio (2002-2011), 3= diferencia de cambio entre el AP y su buffer, y IE= índice de efectividad (suma de los tres parámetros anteriores)

Área Protegida	1	2	3	IE	Categoría de Efectividad	Programa de Manejo
Volcán Nevado de Colima	1	0.174	1	2.174	Efectiva	si
Sierra de Quila	0.969	0.174	1	2.143	Efectiva	elaborado, no publicado
Lagunas de Zempoala	0.962	0.174	1	2.136	Efectiva	si
Iztaccíhuatl-Popocatepetl	0.955	0.175	1	2.13	Efectiva	si
Ciénegas de Lerma	0.115	1	1	2.115	Efectiva	elaborado, no publicado
La primavera	0.901	0.091	1	1.992	Poco Efectiva	si
Nevado de Toluca	0.552	0.220	1	1.772	Poco Efectiva	si
Mariposa Monarca	0.710	0.051	1	1.761	Poco Efectiva	si
Pico de Tancitaro	0.543	0.153	1	1.696	Poco Efectiva	si
Pico de Orizaba	0.833	0.159	0.5	1.492	Poco Efectiva	si
La Montaña Malinche Matlacuayatl	0.113	0.195	1	1.308	Poco Efectiva	si
El Tepozteco	0.556	0.201	0.5	1.257	Poco Efectiva	si
ZPFTCC de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec	0.303	0.101	0.5	0.904	No Efectiva	no
Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla	0.531	0.188	0	0.719	No Efectiva	no
Chichinautzin	0.492	0.161	0	0.653	No Efectiva	si
Cofre de Perote	0.403	0.159	0	0.562	No Efectiva	si
El jabalí	0.349	0.170	0	0.519	No Efectiva	no
Bosencheve	0	0	0.5	0.5	No Efectiva	no

Se observó que el 56% de las AP presentaron tasas de cambio menores que sus áreas circundantes, esto quiere decir que se presentaron mayores procesos de cambio de la cobertura vegetal fuera del AP que dentro de ella. Estas áreas resultaron tener los índices más altos de efectividad de conservación. Por otro lado, el 22% presentó tasas mayores que su área circundante y en el restante 22% hubo procesos de recuperación tanto fuera del AP como dentro de ella, este es el caso de Pico de Orizaba, El Tepozteco, Bosencheve y ZPFTCC de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec. Las AP que resultaron ser no efectivas fueron las que mostraron mayores procesos de cambio de uso de suelo que su área circundante.

La caracterización de las AP en función del porcentaje de ST y de las tasas de cambio (*Cuadro 7*) permite observar perfiles de AP en función de los procesos que se dieron en ellas (*Figuroa et al., 2011*). En este estudio, las tasas de cambio fueron tan pequeñas en todas las AP que la categoría ‘alto’ no fue tomada en cuenta. El mejor de los escenarios para una AP en términos de conservación es el que tiene porcentaje de ST menor a 10% (bajo) y tasa de recuperación, es decir que la ST está cambiando por cobertura vegetal original (*Figuroa et al., 2011*). Este es el caso de La Primavera y Sierra de Quila. De las AP analizadas, no se encontró ninguna en el peor de los escenarios, el cual sería un porcentaje de ST mayor al 50% y una tasa de cambio baja o alta. Sin embargo, la categoría que concentra la mayoría de las áreas (28%) es aquella con un porcentaje de ST alto, es decir, entre el 26 y el 50% de la superficie del AP está transformada, y una tasa de cambio baja, lo que indica una ligera tendencia a mantener e incluso aumentar el porcentaje de ST en las AP con esa categoría.

Solo el 39% de las AP tuvo un porcentaje de ST entre bajo y medio, mientras que el 61% presentó un porcentaje de ST con las categorías de alto y muy alto (*Cuadros 4 y 6*). Aquí cabe resaltar el caso de Ciénegas de Lerma que a pesar de presentar un porcentaje de ST muy alto, es el AP con la tasa de recuperación más alta, es decir, es el AP que más ha aumentado su cobertura natural, disminuyendo su ST en un 18.5% de 2002 a 2011 (*Cuadro 4*). Por esta razón, Ciénegas de Lerma es una de las AP más efectivas que fueron analizadas en este estudio.

Por el contrario está el caso de Bosencheve, que aunque se encuentra en la misma categoría que Ciénegas de Lerma (*Cuadro 7*), es de las áreas menos efectivas ya que a pesar de tener una tasa de cambio de recuperación para el periodo de 2007-2011, en el total de años de estudio, su tasa de cambio es positiva, es decir, ganó mayor cantidad de ST que la que

perdió al final del periodo.

*Cuadro 7.* Caracterización de las AP con base en el porcentaje de ST: bajo (0-10%), medio (11 -25%), alto (26-50%) y muy alto (>50%) y la tasa de cambio (Recuperación: S<0, Estable: S=0 y Baja S>0). \*AP con tasas de recuperación, pero con tasas de cambio muy pequeñas que en comparación con su porcentaje de superficie transformada no representa menores procesos de deforestación.

		%ST			
		Bajo	Medio	Alto	Muy alto
S	<b>Recuperación</b>	La Primavera Sierra de Quila	Mariposa Monarca	ZPFTCC de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec* Chichinautzin* Nevado de Toluca	Ciénegas de Lerma Bosencheve*
	<b>Estable</b>	Iztaccíhuatl-Popocatepetl Lagunas de Zempoala Volcán Nevado de Colima			La Montaña Malinche Matlacuayatl
	<b>Baja</b>		Pico de Orizaba	El Jabalí Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla Pico de Tancítaro Cofre de Perote El Tepozteco	

En cuanto a la efectividad de las categorías de manejo asignadas a las AP, las Áreas de Protección de Flora y Fauna tuvieron la mayor proporción de AP efectivas (40%), pero también de no efectivas, el 20% restante fueron áreas poco efectivas. Una tendencia similar ocurre con los parques nacionales, donde el 36% son AP no efectivas, 27% efectivas y el restante 28% son poco efectivas. Las categorías de manejo no presentaron diferencia en la distribución de AP (*Cuadro 8*). Las únicas dos áreas con categoría de Reserva de la Biosfera (La Primavera y Mariposa Monarca) analizadas en este estudio, resultaron poco efectivas.

*Cuadro 8.* Efectividad de las AP de acuerdo con las categorías de manejo.  
 APFyF= Área de Protección de Flora y Fauna, PN= Parque Nacional, y RB= Reserva de la Biosfera

<b>Categoría de Manejo</b>	<b>No efectiva</b>	<b>Poco efectiva</b>	<b>Efectivas</b>
APFF	Chichinautzin El jabalí	Nevado de Toluca	Ciénegas de Lerma Sierra de Quila
PN	ZPFTCC de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc Temascaltepec Bosencheve Cofre de Perote Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla	El Tepozteco La Montaña Malinche Matlacuayatl Pico de Orizaba Pico de Tancítaro	Lagunas de Zempoala Volcán Nevado de Colima Iztaccíhuatl-Popocatepetl
RB		La primavera Mariposa Monarca	

## Discusión

La evaluación periódica del estado de conservación de las AP es cada vez más relevante dada la importancia que tienen estas áreas en prevenir la deforestación y el deterioro ecológico (Figueroa, 2008) en México y en el mundo, sobre todo en zonas con alto número de taxones endémicos y diversidad biológica, como lo es la FVT. En este estudio, la mayoría de las áreas fueron poco efectivas y no efectivas en cumplir con sus objetivos de conservación en la FVT, por lo que debe ponerse mayor atención en los esfuerzos de conservación actuales para asegurar una mejoría en la conservación de las AP a lo largo del tiempo. Las estrategias a llevar a cabo dependerán de las causas del CUSV en cada AP y de su estado de conservación: no puede aplicarse la misma estrategia a un área con una tasa de cambio baja, pero con alto porcentaje de ST, a una con bajo porcentaje de ST pero con altas tasas de cambio.

El combinar la caracterización de las áreas (*Cuadro 7*) con el índice de efectividad

(Cuadro 6) vuelve los resultados más robustos al ser posible un análisis más fino sobre el estado de la vegetación en cada AP, como lo sugieren Figueroa *et al.* (2011).

En estudios anteriores sobre la efectividad de conservación de las AP en México (Figueroa & Sánchez-Cordero, 2008; Figueroa *et al.*, 2011), se analizan algunas de las áreas aquí trabajadas para el periodo de 1993-2002. Estos estudios, aunque no son directamente equivalentes a los resultados de este trabajo debido a algunas particularidades metodológicas, son útiles para comparar el estado de conservación en aquel periodo de tiempo.

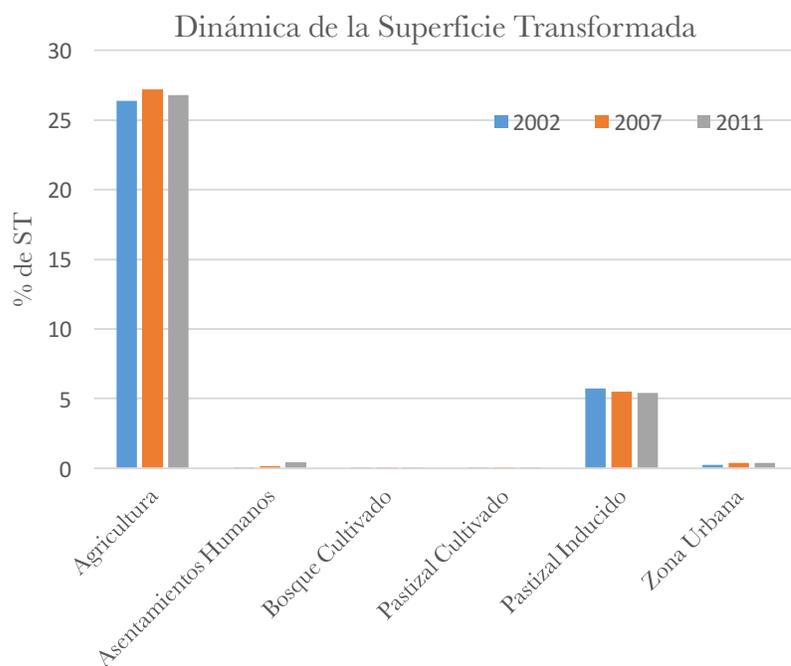
Los resultados de los análisis anteriores muestran cuatro áreas protegidas bajo la categoría de “no efectivas”, las cuales también resultaron bajo la misma categoría de efectividad en la presente investigación: El Jabalí, Cofre de Perote, Bosencheve y Corredor Biológico Chichinautzin. Desde 1993, estas cuatro áreas han estado sometidas a las mismas dinámicas de deforestación, por lo que su estado de degradación constante requiere de mayor atención y mayores esfuerzos para mitigar los procesos que cambio de uso de suelo que se están generando en ellas. Cabe mencionar que, en el presente estudio, sólo las AP con categoría de ‘no efectivas’ fueron incapaces de prevenir los procesos de CUSV con respecto de su área circundante (*ver Cuadro 6*).

Las causas de la deforestación en México y en particular dentro de las AP son muy variadas: acciones políticas, tendencias socioeconómicas de los mercados, incendios forestales, tenencia de la tierra, la actividad ganadera y agrícola y la inadecuada administración de la tierra (Sánchez-Aguilar & Rebollar-Domínguez, 1999; Plassmann, 2018).

La conservación en las AP no es un proceso aislado de la dimensión social, política, económica y cultural (Figueroa *et al.*, 2011), ésta también depende de las características

intrínsecas de AP como el diseño, planeación, operatividad institucional e incluso corrupción (Figuroa *et al.*, 2011). Igualmente depende de las características sociales de las poblaciones que se relacionan con las AP, como pobreza, desigualdad e inequidad (López, 2012).

Un claro ejemplo de importancia del diseño y planeación de las AP es el caso del PN Bosencheve, el cual ha sido categorizado como no efectivo en este y otros estudios (Figuroa & Sánchez-Cordero 2008; Figuroa *et al.*, 2011). Esta AP comparte más del 50% de su polígono con la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, la cual tiene categoría de poco efectiva. La sobreposición de ambos polígonos indica una inadecuada planeación en el diseño, puesto que un mismo territorio tiene simultáneamente dos categorías de manejo distintas: en las RB está permitido el uso sustentable de los recursos, pero no en los PN. Además, Bosencheve no cuenta con un Programa de Manejo establecido, por lo que el área de Bosencheve que se comparte con la RB Mariposa Monarca debe ser manejada conforme



al Programa de Manejo de la RB. El resto de la superficie de Bosencheve no tiene un plan de manejo, siendo donde se encuentra el mayor porcentaje de ST

Figura 4. Dinámica de la superficie transformada en las áreas protegidas de la FVT. Se muestra el cambio en porcentaje de cada tipo de uso de suelo que conforma la superficie transformada a lo largo del periodo de estudio.

(principalmente suelo para uso agrícola. Ver Anexo), lo cual explica su baja efectividad. En este caso en particular, es urgente una revisión en el diseño del área la re-delimitación de los polígonos y la implementación de un Programa de Manejo.

La mayor causa de CUSV encontrada en la presente tesis fue la deforestación con fines agrícolas (*Figura 4*), donde el 27% del área destinada a la conservación está siendo utilizada para uso productivo. La mayor parte de este cambio de uso de suelo es posible que sea ilegal, debido, en efecto, a las razones anteriormente mencionadas, principalmente, al mal diseño y a la poca planeación de las AP, lo cual, a su vez, trae consigo problemas sociales que acentúan aún más los procesos de degradación.

Por ejemplo, en Figueroa *et al.* (2008) se sugiere que las RB pueden ser la estrategia más apropiada para la conservación en México, dado que fue la categoría con más AP efectivas. Sin embargo, para la FVT los resultados de esta tesis muestran que ninguna categoría de manejo está siendo más apropiada que otra para conservar la biodiversidad de la FVT (*Cuadro 8*). Para el caso específico de las RB La Primavera y Mariposa Monarca, la explotación forestal ilegal ha sido una de las principales causas de deforestación. En esta categoría de manejo no es posible hacer uso de los recursos forestales en las zonas núcleo, por lo que algunos terratenientes cuyas propiedades en la zona núcleo precedían a la declaración del AP, no pudieron seguir haciendo uso de éstas lo que generó procesos de tala clandestina (López-García & Alcántara-Ayala, 2012).

Otro ejemplo es el de los Parques Nacionales, ya que la LGEEPA (1988) no está permitido crear centros urbanos, ni realizar actividades de explotación forestal dentro de los parques nacionales. Sin embargo, varias AP con categoría de PN en este estudio (Bosencheve, Cofre de Perote, El Tepozteco, La Montaña Malinche y ZPFTCC de los ríos Valle de Bravo,

Malacatepec, Tilostoc, y Temascaltepec), muestran tener superficie asignada como asentamientos humanos dentro de su polígono de conservación. Este hecho aumenta la posibilidad de degradación debido a la tala clandestina, donde se deforestan áreas de bosque para ser transformadas a pastizales para ganadería, como es el caso de ZPFTCC de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc, y Temascaltepec, Pico de Orizaba, Nevado de Toluca, Lagunas de Zempoala, La Malinche e Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla (ver Anexo), o más comúnmente, a zonas para la agricultura (Pineda-López *et al.*, 2017), como el caso de todos los PN evaluados en este estudio con excepción del Volcán Nevado de Colima y Lagunas de Zempoala.

Usualmente, los procesos de degradación de los bosques son recurrentes desde el establecimiento de las AP, debido a los conflictos de tenencia de la tierra que se generan al momento de decretar un AP. Por lo anterior, en algunos casos, como el de Cofre de Perote o la Mariposa Monarca, donde los decretos de protección de áreas han intensificado los problemas en términos de deforestación, degradación y uso del suelo (López-García & Alcántara-Ayala, 2012; Pineda-López *et al.*, 2017).

La identificación de factores de riesgo generados por las estrategias de manejo actuales es particularmente relevante (*e.g.* explotación ilegal de los recursos debido a la prohibición del uso de los recursos a una comunidad previamente establecida al decreto del AP) así como los factores de riesgo generados por la falta de participación de comunidades locales. Por otro lado, es necesaria la revisión de los impactos derivados de políticas de desarrollo rural, que pueden llegar a generar desigualdad en las comunidades (*e.g.* la facilidad con la que algunos comuneros obtienen créditos y otros no). Estas desigualdades también son una causa de deforestación (López, 2012).

La revisión del diseño y manejo que tienen las AP no efectivas (Figueroa & Sánchez-Cordero, 2008), junto con la implementación de un sistema de manejo adaptativo del área, deben mejorar la efectividad de conservación no solo para el caso de las AP no efectivas, sino para todas las AP. El manejo adaptativo involucra un proceso interactivo que consta de la implementación de una estrategia de manejo, monitoreo y evaluación para poder tomar decisiones futuras con más información sobre el sistema ambiental (Abrahms, 2017), por lo que el sistema de monitoreo es clave para este proceso. Por otro lado, una reasignación de la categoría de conservación y un programa de inclusión social podría resultar lo más eficaz para prevenir estos problemas.

El conflicto de los derechos de tenencia sobre el territorio es un problema muy común (y al mismo tiempo muy grave para los objetivos de conservación), ya que el establecimiento de ejidos o tierras comunales precede a la declaración del PN (Pineda-López *et al.*, 2017). Esta es la razón principal de la tala clandestina por parte de los habitantes dentro de estas zonas con fines de uso principalmente agrícola. Esto sugiere que la falta de efectividad en las AP se debe a la incorrecta asignación de categoría de manejo a un área, debido a la falta de revisión en su diseño. El asignar una categoría de manejo muy limitante a un área donde ya hay asentamientos humanos, ocasiona que los objetivos de conservación del área sean imposibles de cumplir.

Otra razón posible de la deforestación en las AP no efectivas es su cercanía con las grandes ciudades. Las AP no efectivas coinciden con los límites geográficos de ciudades como Guadalajara, Puebla, Cuernavaca, Estado de México y la Ciudad de México, por lo que la constante presión de la expansión de las zonas urbanas hacia las AP debido al desarrollo de la mancha urbana y actividades económicas asociadas son otra de las causas de su baja

efectividad.

Existe amplia literatura sobre la relación que tiene el crecimiento económico con las tasas de deforestación en México (Muñoz *et al.*, 2003; Díaz-Gallegos & Mas, 2009; López, 2012; Torres-Rojo & Flores-Xolocotzi, 2016). Muñoz *et al.* (2003) señalan la relación entre centros poblacionales y deforestación: a mayor distancia entre el bosque y los centros poblacionales y/o carreteras, menor deforestación. También, el que un área sea considerada como apta para producir cierto tipo de cultivo, usualmente provoca la tala clandestina para el uso de esta tierra con fines agrícolas (López, 2012). Este podría ser el caso de El Jabalí, que contiene un alto porcentaje de su superficie con uso de suelo agrícola, en contraste con el Volcán Nevado de Colima, cuyo polígono colinda con El Jabalí y, dada la orografía del área, esta no es considerada como apta para cultivar, por lo que su ST es cero (ver Anexo).

Otro efecto económico sobre la deforestación es el del precio de la madera: a mayores precios en la madera, la tala se vuelve una actividad más rentable y, por ende, se espera más deforestación (López, 2012). Aunado a esto, la poca oportunidad de empleos no-agrícolas y el bajo salario en las zonas rurales aumentan la tala clandestina (López, 2012). Sin embargo, es necesario un enfoque más holístico para poder darle una mejor solución al problema.

Como estrategia para mitigar los procesos de tala clandestina y promover la conservación de las áreas que son de propiedad comunal, existen mecanismos tales como el Pago por Servicios Ambientales (PSA), que consiste en otorgar incentivos económicos para los dueños de los bosques que perdieron los permisos para usar la tierra en las zonas núcleo (López-García & Alcántara-Ayala, 2012). Esta estrategia de conservación podría ser una opción viable para implementarse en más AP, con el objetivo de reducir deforestación causada por actividades humanas dentro de las AP (López-García & Alcántara-Ayala, 2012).

En cuanto a las áreas que fueron clasificadas como efectivas, los resultados de esta tesis coinciden con los de Figueroa & Sánchez-Cordero (2008) en tres áreas: PN Lagunas de Zempoala, Volcán Nevado de Colima e Iztaccíhuatl-Popocatepetl, revelando su constante efectividad en contener los procesos de deforestación. Esto puede ser corroborado con la caracterización (*Cuadro 7*), con base en la cual podemos observar que las tres áreas conservan porcentajes de ST muy bajos (menores a 10%) y tasas de cambio estables, con valores cercanos a cero. El Nevado de Colima fue la única en donde no se encontró ST. En este caso en particular, la falta de CUSV puede deberse a causas intrínsecas del área como el aislamiento geográfico (Figueroa & Sánchez-Cordero, 2008).

### **Caso de estudio: Cambio de Uso de Suelo en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl**

El PN Iztaccíhuatl-Popocatepetl, que fue analizado con base en la matriz de transición con el fin de realizar un análisis más profundo del cambio de uso de suelo, mostró ser un AP efectiva (*Cuadro 5*). Este PN tiene valores muy bajos de ST, los cuales mantiene relativamente constante a lo largo del tiempo, ya que presenta una tasa de recuperación muy pequeña (*Cuadro 6*). A pesar de estar sometida a presiones externas como el crecimiento de las ciudades, el área conserva de manera muy efectiva su vegetación y ha disminuido su superficie agrícola (ver Anexo). En comparación con estudios anteriores, para el periodo de 1993 a 2002, esta área conserva de manera efectiva su cobertura vegetal, no habiendo ningún cambio en su efectividad de conservación. Esto puede deberse a la alta actividad volcánica que el Popocatepetl ha tenido en los últimos 17 años (Cenapred, 2014), lo que impide los asentamientos humanos irregulares y en general, el acceso de las poblaciones humanas a esta

zona.

En este estudio solo fueron evaluadas dos Reservas de la Biosfera: La Primavera y Mariposa Monarca, ambas disminuyeron su efectividad de conservación entre este estudio y el de 1993-2002, pasando de efectivas a poco efectivas; sin embargo, este cambio en la categoría de efectividad puede deberse a las diferencias metodológicas entre este y estudios anteriores, ya que los valores de ambas áreas (1,992 y 1,761 respectivamente) son muy cercanos a los de las AP efectivas.

El AP Ciénegas de Lerma no fue evaluada en estudios anteriores, sin embargo, al ser un sitio Ramsar (*i.e.* humedales de importancia internacional debido a su representatividad e importancia para la conservación de la biodiversidad; Convención sobre los humedales, 1971), es considerado prioritario para la conservación, y los esfuerzos para disminuir la ST mediante la implementación de planes de reforestación y PSA han sido muy exitosos, disminuyendo notablemente el uso de suelo agrícola dentro de esta AP (Cuadro 4, Anexo). El resto de las áreas cambiaron su categoría de efectividad entre los periodos 1993-2002 y 2002-2011. Por ejemplo, el APFyF Sierra de Quila pasó de poco efectiva a efectiva (el uso de suelo agrícola disminuyó significativamente; ver Anexo), mientras que la ZPFTCC de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec pasó de ser efectiva a no efectiva. Todas las áreas que en el presente estudio fueron asignadas a la categoría de poco efectivas (con la excepción de La Montaña Malinche Matlacuayatl y el El Tepozteco), para el periodo de 1993-2002 tenían la categoría de efectivas, porquedisminuyeron su efectividad de conservación en este último periodo de tiempo analizado. Sólo La Montaña Malinche Matlacuayatl y El Tepozteco pasaron de no efectivas a poco efectivas, sin embargo, en el Cuadro 7 se observa que ambas áreas tienen altos porcentajes de ST y tasas de cambio bajas,

por lo que la tendencia sería que la ST (aunque a un ritmo muy lento) se incremente en el futuro.

La mayoría de las AP analizadas cuentan con un Programa de Manejo. El Programa de Manejo es el instrumento rector de planeación y regulación que establece actividades, acciones y lineamientos básicos para la operación y administración del área natural protegida, y contiene entre otros datos, la especificación de las densidades, intensidades, condicionantes y modalidades a que se ajustarán las obras y actividades que se realizan, en términos de lo establecido en el Decreto de creación, su categoría y demás disposiciones legales y reglamentarias aplicables (LGEEPA, 1988; Reglamento en Materia de Áreas Naturales Protegidas [RANP, 2014]). La existencia de un Programa de Manejo coincide con la categoría de efectividad de las AP (con la excepción de Cofre de Perote), lo cual resalta la importancia del diseño e implementación de un Programa de Manejo para cada AP. No obstante, aunque teóricamente el Programa de Manejo mejora la gestión de las AP, no hay que olvidar que la pérdida de bosques y el cambio de uso de suelo son procesos complejos dinámicos que no pueden atribuirse a una relación lineal y estática de causa-efecto (López, 2012). Al estar trabajando con estos procesos complejos y dinámicos, los programas de manejo deben comportarse de la misma forma, por lo que la implementación del manejo adaptativo es fundamental para asegurar la efectividad de conservación de las AP en el mediano y largo plazo.

La comprensión de las causas de la deforestación y degradación es el primer paso en el diseño e implementación de políticas de conservación forestal, las cuales sólo funcionan si las causas múltiples y dinámicas que están detrás de la deforestación se atienden (López, 2012). Por esta razón, los resultados aquí presentados junto con los de estudios previos pueden ser

la base de sistemas de monitoreo para evitar la pérdida de cobertura vegetal. Una buena estrategia para llevar a cabo dentro de las AP sería la implementación de un sistema de monitoreo del cambio de uso de suelo. El éxito de implementar esta clase de sistema, así como la facilidad con la que pudiera implementarse, dependen de la disponibilidad de bases de datos confiables, actualizadas y con una alta resolución espacial; así como de la capacidad técnica y humana con la que se cuente para este fin, y de la disponibilidad temporal en la que se disponga de los datos, es decir, un periodo mínimo en las series de tiempo (Cabello *et al.*, 2016).

## Limitaciones y Perspectivas

La comparación de las Series de Uso de Suelo y Vegetación, realizadas bajo diferentes criterios, fue una de las principales limitantes de este proyecto. A pesar de que para este análisis se usó la información pública disponible más actualizada en el momento que se realizó esta investigación (INEGI 2005, 2007, 2015), la metodología con base en la cual se determinó el sistema de clasificación de la vegetación en cada serie fue distinto, por lo que no pudieron ser directamente comparables y fue necesaria una homologación de dichas categorías. Estos cambios en los polígonos de los tipos de vegetación pudieron haber generado errores en los cálculos de las áreas de cada tipo de vegetación.

Por otra parte, esta metodología sólo representa una evaluación parcial del estado de conservación de las áreas. Para una evaluación más profunda de la integridad ecológica es necesario examinar la persistencia de amenazas, así como de atributos del sistema ecológico como indicadores de estructura y función, tales como la presencia de poblaciones de especies con funciones ecológicas clave o que son vulnerables a las perturbaciones (Figuroa &

Sánchez-Cordero, 2008). La metodología aquí empleada excluye amenazas como especies exóticas e invasivas o la pérdida de fauna debido a la cacería intensiva. Por esta razón, hago énfasis en que este estudio es sólo uno de los muchos indicadores que pueden utilizarse para la evaluación de la integridad ecológica.

A pesar de las limitaciones, este estudio resulta en un buen indicador del estado de conservación de las AP en la FVT, y pretende ser la base para el análisis de otras variables de evaluación de la integridad ecológica de la FVT, así como para planeación del manejo de AP e implementación de nuevas estrategias de conservación en las AP menos efectivas.

## Conclusiones

- La mayoría de las áreas protegidas de carácter federal en la Faja Volcánica Transmexicana no están siendo efectivas en prevenir el cambio de uso de suelo.
- Sólo cinco AP fueron efectivas mientras que las restantes fueron poco efectivas y no efectivas en conservar la vegetación natural. Once de las 18 AP evaluadas en este estudio tuvieron porcentajes de Superficie Transformadas ‘Alto’ y ‘Muy Alto’.
- La Agricultura y los Pastizales Inducidos fueron las principales categorías de Cambio de Uso de Suelo y Vegetación en las AP analizadas en este estudio.
- Las tasas de cambio tuvieron valores muy pequeños en todas las AP, lo que sugiere que los procesos tanto de recuperación de la cobertura vegetal, como los de pérdida de la misma están ocurriendo lentamente y con cambios mínimo. No obstante, hay que tomar en cuenta las causas de dichos procesos de deforestación, con el fin de frenarlos, pero también de los procesos de recuperación de cobertura de vegetación natural

para poder incrementarlos.

- Las políticas públicas no aplicadas y la falta de interés en realizar un manejo integral de las AP y de las zonas rurales, donde la sociedad sea incluida en la toma de decisiones, son las razones principales de la deforestación en la FVT.
- Es urgente revisar el diseño de las Áreas Protegidas desde una perspectiva de la Planeación Sistemática de la Conservación para mejorar el cumplimiento de los objetivos de conservación de las AP.
- Asimismo, la implementación de planes de manejo adaptativo en todas las AP es una estrategia que podría asegurar una mayor efectividad de conservación en el mediano y largo plazo.

## Literatura Citada

- Abrhams, B., DiPrieto, D., Graffis, A., Hoallander, A. (2017). Managing biodiversity under climate change: challenges, frameworks, and tools for adaptation. *Biodiversity and Conservation*, (26) 10: 2277-2293 doi: 10.1007/s10531-017-1362-4.
- Arriaga, L. (2000). Ajusco-Chichinautzin en Regiones terrestres prioritarias de México. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad 430-432.
- Aubertin, C., Rodary, E., Jackson, C., Chauvet, L. & Dirsuweit, T. (2010). *Protected Areas, Sustainable LandC?* Ashgate Publishing Group.
- Barrera-Moreno, O., Escalante, T. & Rodríguez, G. (2011). Panbiogeografía y modelos digitales de elevación: un caso de estudio con roedores en la Faja Volcánica Transmexicana. *Revista de geografía Norte Grande*, (48), 11-25. doi:10.4067/s0718-

34022011000100002.

Bishop, J. & Landell-Mills, N. (2003). Los servicios ambientales de los bosques: Información general. En: Piagiola, B., Landell- Mills, N. (coord.), La venta de servicios ambientales forestales. SEMARNAT, INE, CONAFOR, Ciudad de México.

Cabello J., Salinas M. J., Torres M. T.& Castro. H. (2016). Global Change Monitoring Handbook. A proposal for arid and semiarid environments. Fundación Patrimonio Natural, Biodiversidad y Cambio Global. Almería. pp. 110.

Carabias, J., De La Maza, J. & Cadena, R. (2003). Capacidades necesarias para el manejo de áreas protegidas. Arlington, Va.: Nature Conservancy.

Cenapred. (2014). Historia de la actividad del volcán Popocatepetl: 17 años de erupciones. Disponible en: <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/225>. Fecha de consulta: 22 de enero de 2018.

CITES. (2017). Apéndices. Disponible en: <http://www.cites.org/esp/index.shtml>>. Fecha de consulta: 22 de enero de 2018.

Conanp. (2016). Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). Disponible en: <http://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-areas-protegidas-sinap>. Fecha de consulta: 30 de Marzo, 2017.

Conanp & Conabio. (2016). Mapa de Áreas Naturales Protegidas. Conanp/ Conabio, México, D. F.

Convención sobre los humedales. (1971). Criterios para sitios Ramsar. Ramsar

Díaz-Gallegos, J.R. & Mas, J.F. (2009). La deforestación de los bosques tropicales: una

revisión. Fondo de cultura económica. Disponible en:  
[https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/ramsarsites\\_criteriasp.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/ramsarsites_criteriasp.pdf). Fecha de consulta: 22 de Enero, 2018

FAO (2012). El estado de los bosques del mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. Disponible en:  
<http://www.fao.org/docrep/016/i3010s/i3010s.pdf>. Fecha de consulta: 20 de Marzo, 2017.

Escalante, T., Sánchez-Cordero, V., Morrone, J.J. & Linaje, M. (2007). Deforestation affects biogeographical regionalization: a case study contrasting potential and extant distributions of Mexican terrestrial mammals. *Journal of Natural History*, (41), 965-984. doi:10.1080/00222930701292062.

Espinosa D., Ocegueda, S., Aguilar, C., Flores, O., Llorente-Bousquets, J. (2008). El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural, en *Capital natural de México, Conabio I* : 33-65.

Figuroa, F. & V. Sánchez-Cordero. (2008). Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 17:3223-3240. Doi: 10.1007/s10531-008-9423-3.

Figuroa, F., V. Sánchez-Cordero., Meave, J. & Trejo, I. (2010). Socioeconomic context of land use and cover change in Mexican Biosphere reserves. *Environmental Conservation*, 36 (3): 180-191.

Figuroa, F., Illoldi-Rangel, P., Sánchez-Cordero, V. & Linaje, M. (2011). Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio en el uso de suelo

- y la vegetación. ¿Un índice es suficiente?. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82 (3): 951-963.
- Gámez, N., Escalante, T., Rodríguez, G., Linaje, M. & Morrone, J. (2012). Caracterización biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana y análisis de los patrones de distribución de su mastofauna. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83: 258-272.
- Granados S. D., G.F. López, M. A. Hernández & A. Sánchez. (2004). Ecología de la Fauna Silvestre de la Sierra Nevada y la Sierra del Ajusco. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 10 (2): 111-117.
- Grantham, H.S., Pressey, R.L., Wells, J.A. & Beattie, A.J. (2010). Effectiveness of Biodiversity Surrogates for Conservation Planning: Different Measures of Effectiveness Generate a Kaleidoscope of Variation. *PLoS ONE*, 5(7): e11430. doi:10.1371/journal.pone.0011430.
- Geist, H. & Lambin, E. (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience*, 2 (52):143-150.
- Hockings, M., Stoltol, S. & Dudley, N. (2000). Evaluating effectiveness. A framework for Assessing the Management of Protected Areas. Best Practice Protected Area Guidelines Series, No 6. IUCN- The World Conservation Union. Gland, Switzerland.
- Hughes, R.F., Kauffman, J. B., & Jaramillo, V.J. (2000). Ecosystem- scale impacts of deforestation and land use in a humid tropical region of Mexico. *Ecological Applications*, (10):515- 527.
- IUCN. (2017-3.) Red List of threatened species. Disponible en: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org). Fecha de consulta: 22 de enero de 2018.

- INEGI (2013). Estadísticas a propósito del día mundial forestal. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Contenidos/estadisticas/2013/forestal0.pdf>.
- INEGI (2015). Mapa de uso del suelo y la vegetación, serie 5, 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Dirección General de Geografía, Aguascalientes, Aguascalientes.
- INEGI (2015). Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación (continuo nacional), serie 5, 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Dirección General de Geografía, Aguascalientes, Aguascalientes.
- Lambin, E. (1997). Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography* 21, 375-393.
- Liu, J. & Taylor, W. W. (2002). Integrating landscape ecology into natural resource management. Cambridge University Press.
- López, A. (2012). Deforestación en México: un análisis preliminar. *CIDE*, 527, 1-35.
- López-García, J. & Alcántara-Ayala, I. (2012). Land-use change and hillslope instability in the monarch butterfly biosphere reserve, central Mexico. *Land degradation & development*, (23), 384-397.
- Nelson, J. & Heritage, C. (1997). National parks and protected areas: Keystones to conservation and sustainable development. Berlin: Springer.
- Morales, R., Escalante, T., Noguera-Urbano, E. A., Gámez, N. & Rodríguez-Tapia, G.

- (2016). Conservation biogeography in the Mexican Mountain Component: Bridging conservation and patterns of endemism. *Therya*, 7(2), 215-229. doi:10.12933/therya-16-329.
- Morrone, J. J. (2005). Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 76(2), 207-252.
- Morrone, J. J., Escalante, T. & Rodríguez-Tapia, G. (2017). Mexican biogeographic provinces: Map and shapefiles. *Zootaxa*, 4277 (2), 277-279.
- Muñoz, C., Alarcón G. y Fernández J. C. (2003), Pixel Patterns of Deforestation in Mexico 1993-2000, INE Working Paper Series, INE-0401.
- Pascual-Aguilar, J.A. (2004). Dinámica reciente de usos de suelo en el continuo metropolitano de Valencia (1956-1998). *Cuadernos de Geografía*, 76: 183- 202.
- Perevochtchikova, M., Rojo-Negrete, I., Martínez, S. & Fuentes-Mariles, G. (2015). Información hidroclimatológica para la evaluación de los efectos del programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos. Caso de estudio de la comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, México. *Revista Latinoamericana De Recursos Naturales*, 11(1), 37-55.
- Peralta-Rivero, C., Torrico, J., & Vos, V. (2015). Tasas de cambios de coberturas de suelo y deforestación (1986-2011) en el municipio de Ríberalta, Amazonía boliviana. *Ecología En Bolivia*, 50(2), 91-114.
- Pineda-López, M.R., Ruelas, E., Sánchez-Velásquez, L., Espinoza, M., Rojo, A. & Vásquez-Morales, S.G. (2017). Dynamic of land use and land cover in a Mexican National Park. *Madera y Bosques*, 23(3), 87-99.

- Pisanty, I., E. Urquiza-Haas, A. Vargas-Mena & Amezcua. (2016). Instrumentos de conservación in situ en México: logros y retos, en *Capital natural de México*, vol. iv: Capacidades humanas e institucionales. Conabio, 245-302.
- Puyravaud, J. P., (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest ecology and management*, 177, 593-596.
- Pontius, R. G., Shusas, E., McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture Ecosystems & environment*, 101, 251-268.
- Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, P., Escalante, T., Figueroa, F., Rodríguez, G., Linaje, M., Fuller, T., & Sarkar, S. (2009). Deforestation and biodiversity conservation in Mexico. Kuznetsov Nova Science Publishers, Inc. 279-297.
- Sánchez-Aguilar, R., Rebollar-Domínguez, S. (1999). Deforestación en la Península de Yucatán, los retos que enfrentar Madera y Bosques. *Instituto de Ecología, A.C.* 5(2): 3-17.
- Suárez, M. M., Téllez, O. V., Lira, R. S., & Villaseñor, J. (2013). Una regionalización de la Faja Volcánica Transmexicana con base en su riqueza florística. *Botanical Sciences*, 91(1), 93-105.
- Stolcke, A., Kajarekar, J., & Ferrer, L. (2008). Nonparametric feature normalization for SVM-based speaker verification, *Proc. ICASSP*, Las Vegas.
- Torres, A., & Luna, I. (2006). Análisis de trazos para establecer áreas de conservación en la Faja Volcánica Transmexicana. *Interciencia*, 31(12), 849-866.

Torres-Rojo, J.M. & Flores-Xolocotzi, R. (2011). Deforestation and Land Use Change in Mexico. *Journal of Sustainable Forestry*, (12), 171-192.

UNFCCC. (2001). Report of the conference of the parties on its seventh session, held at marrakesh from 29 October to 10 November 2001. cp. 7, pp. 54.

Wu R, Long Y, Malanson GP, Garber PA, Zhang S, et al. (2014) Optimized Spatial Priorities for Biodiversity Conservation in China: A Systematic Conservation Planning Perspective. *PLoS ONE* 9(7): e103783. doi:10.1371/journal.pone.0103783.

## ANEXO

En este apartado se encuentra la información sobre los cambios de uso de suelo y vegetación en cada Área Protegida de la FVT evaluada en este trabajo, durante el periodo de tiempo de 2002-2011. La primera columna representa los nombres de las categorías de vegetación y uso de suelo; en las siguientes tres columnas se encuentran los valores medidos en hectáreas de la superficie ocupada por cada tipo de vegetación o uso de suelo, y las últimas dos columnas presentan los valores en porcentaje de las tasas de cambio para cada tipo de uso de suelo para el periodo de 2002-2007, y 2007-2011.

<b>CATEGORÍAS</b>	<b>2002 (ha)</b>	<b>2007 (ha)</b>	<b>2011 (ha)</b>	<b>S1(%)</b>	<b>S2(%)</b>
<b>BOSENCHAVE</b>					
Agricultura	10055.189	10459.615	10429.685	0.5194	-0.0320
Asentamientos Humanos	0	0	14.282	0.2418	0.0152
Bosque Cultivado	0	188.254	188.157	0.6429	-0.0001
Bosque de Oyamel	123.037	623.608	611.261	0.1313	-0.0132
Bosque de Pino	1470.207	1572.464	1592.714	-1.7029	0.0216
Bosque de Pino-Encino	3724.837	2399.018	2392.503	0.1465	-0.0069
Bosque Mesófilo de Montaña	0	114.077	128.378	0.0208	0.0153
Cuerpo de agua	197.325	213.559	213.612	0.5194	5.6730E-05
<b>CHICHINÁUTZIN</b>					
Agricultura	11850.802	11904.752	11757.55	0.0271	-0.0617
Asentamientos Humanos	91.235	185.588	187.259	0.0475	0.0007
Bosque de Encino	1705.478	1676.579	1678.152	-0.0145	0.0006
Bosque de Encino-Pino	1831.745	1825.861	2276.989	-0.0029	0.1893
Bosque de Oyamel	1711.149	1711.859	1711.649	0.0003	-8.8164E-05
Bosque de Pino	7824.982	7882.309	7873.165	0.0288	-0.0038
Bosque de Pino-Encino	5871.217	5935.493	5634.369	0.0323	-0.1264
Bosque Mesófilo de Montaña	3265.554	3340.515	3344.832	0.0377	0.0018
Pastizal Inducido	1687.584	1794.469	1793.144	0.0538	-0.0005
Selva Baja Caducifolia	3824.2	3406.487	3405.979	-0.2104	-0.0002
Zona Urbana	34.637	34.667	35.49	1.5114E-05	0.0003
<b>CIÉNEGAS DE LERMA</b>					
Agricultura	1898.144	1793.731	1572.821	-0.6481	-1.1427
Pastizal Inducido	612.195	615.545	371.479	0.0208	-1.2625
Tular	708.708	808.788	1274.229	0.6213	2.4077
Zona Urbana	2.745	3.728	3.262	0.0061	-0.0024
<b>COFRE DE PEROTE</b>					

Agricultura	2270.02	2298.669	2301.491	0.0466	0.0038
Bosque de Oyamel	1633.548	1495.442	1496.005	-0.2246	0.0007
Bosque de Pino	4269.186	4353.72	4354.315	0.1375	0.0008
Bosque de Pino-Encino	1081.592	1098.624	1095.042	0.0277	-0.0048
Pastizal Cultivado	29.162	30.511	31.067	0.0022	0.0007
Pastizal Inducido	2681.884	2688.373	2687.428	0.0106	-0.0012
Pradera de Alta Montaña	329.474	329.526	329.516	8.4588E-05	-1.3555E-05
<b>EL JABALÍ</b>					
Agricultura	253.302	253.302	253.28	0	-6.7871E-05
Bosque de Encino	192.848	192.848	194.189	0	0.0041
Bosque de Encino-Pino	0.451	0.451	0.231	0	-0.0007
Bosque de Pino	777.038	777.038	770.846	0	-0.0191
Bosque de Pino-Encino	682.372	682.372	672.545	0	-0.0303
Bosque Mesófilo de Montaña	1146.24	1146.24	1160.8	0	0.0449
Pastizal Cultivado	228.916	228.916	234.118	0	0.0160
Pastizal Inducido	1914.87	1914.87	1914.59	0	-0.0008
Pradera de Alta Montaña	206.371	206.371	201.801	0	-0.0141
<b>EL TEPOZTECO</b>					
Agricultura	6437.324	5844.569	5846.567	-0.4790	0.0013
Asentamientos Humanos	32.987	440.374	443.601	0.3292	0.0022
Bosque de Encino	2004.655	2185.582	2185.782	0.1462	0.0001
Bosque de Encino-Pino	718.761	884.642	884.591	0.1341	-3.4346E-05
Bosque de Oyamel	787.399	784.359	782.688	-0.0025	-0.0011
Bosque de Pino	3457.245	3502.842	3498.909	0.0368	-0.0026
Bosque de Pino-Encino	1172.289	1150.36	1150.37	-0.0177	6.7344E-06
Bosque Mesófilo de Montaña	2793.032	2968.377	2965.893	0.1417	-0.0016
Matorral Desértico Rosetófilo	262.388	262.109	262.104	-0.0002	-3.3672E-06
Pastizal Inducido	641.603	686.681	686.544	0.0364	-9.2261E-05
Selva Baja Caducifolia	5914.411	5515.127	5517.986	-0.3226	0.0019
Zona Urbana	526.362	523.429	523.419	-0.0024	-6.7344E-06
<b>INSURGENTE MIGUEL HIDALGO Y COSTILLA</b>					
Agricultura	167.661	165.489	164.993	-0.0215	-0.0041
Bosque de Oyamel	1200.434	1203.131	1202.329	0.0268	-0.0066
Bosque de Pino	152.329	157.723	156.652	0.0535	-0.0088
Cuerpo de Agua	10.346	10.114	10.128	-0.0023	0.0001
Pastizal Inducido	483.607	477.92	480.273	-0.0564	0.0194
<b>IZTACCÍHUATL-POPCATÉPETL</b>					
Agricultura	135.294	128.528	129.651	-0.0031	0.0004
Bosque Cultivado	70.425	70.376	70.374	-2.3099E-05	-7.856E-07
Bosque de Encino	78.063	78.269	78.406	9.7111E-05	5.3819E-05
Bosque de Oyamel	1805.189	1799.88	1804.635	-0.0025	0.0018
Bosque de Pino	26309.835	26237.246	26235.867	-0.0342	-0.0005
Bosque de Pino-Encino	742.147	752.032	746.623	0.0046	-0.0021
Sin Vegetación	5547.141	5548.706	5548.609	0.0007	-3.8106E-05

Aparente					
Pastizal Inducido	1115.946	1116.88	1118.257	0.0004	0.0005
Pradera de Alta Montaña	6621.524	6693.647	6693.144	0.0339	-0.0001
<b>LA MALINCHE</b>					
Agricultura	27936.671	27763.498	27764.641	-0.0705	0.0004
Bosque de Encino	475.513	475.429	475.421	-3.4201E-05	-2.7144E-06
Bosque de Encino-Pino	703.872	703.215	703.565	-0.0002	0.0001
Bosque de Oyamel	1229.827	1229.792	1229.769	-1.4250E-05	-7.8038E-06
Bosque de Pino	14799.024	14881.534	14881.106	0.0335	-0.0001
Bosque de Pino-Encino	1217.621	1351.611	1351.776	0.0545	5.5984E-05
Sin Vegetación Aparente	170.195	170.183	170.179	-4.8859E-06	-1.3572E-06
Pastizal Inducido	2015.685	1972.192	1970.792	-0.0177	-0.0005
Pradera de Alta Montaña	547.367	547.309	547.299	-2.3615E-05	-3.393E-06
Zona Urbana	25.074	26.084	26.298	0.0004	7.2610E-05
<b>LA PRIMAVERA</b>					
Agricultura	1367.981	1415.906	1350.544	0.0293	-0.0333
Asentamientos Humanos	0	0	28.173	0	0.0143
Bosque de Encino	471.513	469.774	493.28	-0.0011	0.0119
Bosque de Encino-Pino	24134.979	23878.02	23834.484	-0.1573	-0.0222
Bosque de Pino-Encino	5825.373	5471.872	5509.797	-0.2164	0.0193
Pastizal Inducido	868.734	1433.001	1421.75	0.34544	-0.0057
Zona Urbana	0.097	0.106	30.649	5.5098E-06	0.0155
<b>LAGUNAS DE ZEMPOALA</b>					
Bosque de Oyamel	2469.341	2461.349	2460.57	-0.0329	-0.0026
Bosque de Pino	2167.172	2175.5	2175.542	0.0322	5.5321E-06
Bosque de Pino-Encino	63.226	63.846	64.061	0.0025	2.2026E-06
Cuerpo de Agua	22.817	22.811	22.81	-2.4746E-05	-1.0244E-08
Pastizal Inducido	126.553	126.099	126.127	-0.0018	2.8684E-07
<b>MARIPOSA MONARCA</b>					
Agricultura	9537.87	11187.841	11021.657	0.5497	-0.0461
Asentamientos Humanos	0	0	182.451	0	0.0506
Bosque de Encino	1288.076	0	0	-0.4291	0
Bosque de Encino-Pino	1043.077	1045.033	1043.152	0.0006	-0.0005
Bosque de Oyamel	15654.946	22737.177	22866.194	2.3594	0.0358
Bosque de Pino	85.361	0	0	-0.02844	0
Bosque de Pino-Encino	31673.971	23456.367	23466.497	-2.7376	0.0028
Bosque Mesófilo de Montaña	0	754.551	768.126	0.2513	0.0037
Cuerpo de Agua	0.307	17.971	17.881	0.0059	-2.4986E-05
Pastizal Inducido	673.887	788.596	621.579	0.038214979	-0.0463
Zona Urbana	76.031	45.991	45.989	-0.0100	-5.5524E-07
<b>NEVADO DE TOLUCA</b>					

Agricultura	12395.905	12010.582	11829.397	-0.1350	-0.0529
Bosque de Encino	163.274	162.927	162.63	-0.0001	-8.6742E-05
Bosque de Encino-Pino	88.359	88.118	89.132	-8.4464E-05	0.0003
Bosque de Oyamel	14451.618	14443.643	14609.817	-0.0027	0.0485
Bosque de Pino	21192.633	21583.825	21598.883	0.1371	0.0043
Bosque de Pino-Encino	14.564	13.573	14.339	-0.0003	0.0002
Cuerpo de Agua	15.727	15.731	15.73	1.4019E-06	-2.9206E-07
Sin Vegetación Aparente	588.204	588.237	588.214	1.15657E-05	-6.7174E-06
Pastizal Inducido	6830.266	6833.845	6832.44	0.0012	-0.0004
Pradera de Alta Montaña	1324.784	1324.851	1324.801	2.3481E-05	-1.4603E-05
<b>PICO DE ORIZABA</b>					
Bosque de Oyamel	1396.152	1478.442	1484.391	0.0784	0.0047
Bosque de Pino	1081.638	1075.37	1073.466	-0.0059	-0.0015
Sin Vegetación Aparente	10737.869	10684.909	10679.611	-0.0504	-0.0042
Pastizal Inducido	1833.492	1833.612	1833.571	0.0001	-3.2538E-05
Pradera de Alta Montaña	927.417	903.914	905.323	-0.0223	0.0011
<b>PICO DE TANCITARO</b>					
Agricultura	7652.822	7756.638	7767.339	0.0833	0.0071
Bosque de Pino	8123.898	8123.897	8122.16	-8.0260E-07	-0.0012
Bosque de Pino-Encino	8068.072	7964.255	7961.823	-0.0833	-0.0016
Sin Vegetación Aparente	1073.955	1073.955	1067.424	0	-0.0043
<b>SIERRA DE QUILA</b>					
Agricultura	326.756	141.053	136.186	-0.2459	-0.0053
Bosque de Encino	8611.111	8774.799	1705.69	0.2167	-7.7991
Bosque de Encino-Pino	2796.311	2796.311	2777.288	-8.6984E-07	-0.0209
Bosque de Pino-Encino	1459.0476	1459.047	9853.703	-8.3354E-07	9.2615
Pastizal Inducido	0	192.058	192.751	0.2542	0.0007
Selva Baja Caducifolia	1913.3889	1743.345	440.997	-0.2251	-1.4368
<b>VOLCÁN NEVADO DE COLIMA</b>					
Bosque de Oyamel	811.952	811.952	789.188	0	-0.0544
Bosque de Pino	1149.762	1149.762	1182.205	0	0.0776
Bosque de Pino-Encino	579.616	579.616	567.126	0	-0.0299
Bosque Mesófilo de Montaña	40.456	40.456	37.351	0	-0.0074
Sin Vegetación Aparente	1430.984	1430.984	1430.852	0	-0.0003
Pradera de Alta Montaña	2948.877	2948.877	2954.925	0	0.0144
<b>ZPFTCC DE LOS RÍOS VALLE DE BRAVO, MALACATEPEC, TILOSTOC Y TEMASCALTEPEC</b>					
Agricultura	57191.34	60878.957	59554.252	0.4938	-0.1478
Asentamientos Humanos	0	373.072	1616.906	0.049953495	0.1387
Bosque Cultivado	0	1.845	1.421	0.0002	-4.7311E-05
Bosque de Encino	1249.825	957.048	1641.853	-0.0392	0.0764
Bosque de Encino-	2756.541	3048.625	3049.548	0.0391	0.0001

Pino					
Bosque de Oyamel	4070.763	4090.692	4144.091	0.0027	0.0059
Bosque de Pino	9229.837	23281.393	23155.302	1.8814	-0.0141
Bosque de Pino- Encino	56171.768	39890.375	39633.809	-2.1800	-0.0286
Bosque Mesófilo de Montaña	3373.579	3147.557	3060.059	-0.0302	-0.0098
Cuerpo de Agua	2194.283	2218.752	2231.63	0.0032	0.0014
Pastizal Inducido	10847.762	8780.908	8577.613	-0.2767	-0.0227
Selva Baja Caducifolia	1452.882	1271.231	1274.035	-0.0243	0.0003
Zona Urbana	829.141	1427.271	1427.202	0.0801	-7.6991E-06