



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

**ANÁLISIS DE LOS INSTRUMENTOS DE POLÍTICA
PÚBLICA Y SUS EFECTOS DE CONTENCIÓN EN LA
EXPANSIÓN DE SISTEMAS AGROPECUARIOS EN
EL COMPLEJO DE ANPs DE LA SIERRA MADRE DE
CHIAPAS**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A :

Abraham Moisés Reyes Luna



**DIRECTOR DE TESIS:
Mtro. José Mauricio Galeana Pizaña**

Ciudad de México, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicatoria

A mis padres, por el cariño y apoyo incondicional brindado en estas 26 vueltas al Sol.

A mi hermana Carolina, por esos consejos que me han impulsado a alcanzar mis metas.

A Fernanda, gracias por ser esa persona que siempre ha estado allí cuando más he necesitado, tu apoyo y amor incondicional que me has brindado... Te amo.

A Erik Guzmán y David Díaz por su amistad brindada en estos 8 años.

"We've always defined ourselves by the ability to overcome the impossible. And we count these moments. These moments when we dare to aim higher, to break barriers, to reach for the stars, to make the unknown known. We count these moments as our proudest achievements. But we lost all that. Or perhaps we've just forgotten that we are still pioneers. And we've barely begun. And that our greatest accomplishments cannot be behind us, because our destiny lies above us."

Joseph Cooper (Interstellar, 2015).

Agradecimientos

A la UNAM, por permitirme formar parte de ella y ofrecerme los recursos necesarios para mi desarrollo académico y profesional.

A CentroGeo, por abrirme las puertas y permitirme crecer en un ambiente profesional, así como el apoyo para realizar este proyecto de tesis.

A Mauricio Galeana, mi humilde profesor y asesor, por brindarme su tiempo, confianza, ayuda, consejos, conocimiento, enseñanza y comprensión, logrando un punto de inflexión en mi trayectoria profesional y académica.

A Juan Manuel Núñez, por brindarme la oportunidad de realizar de la tesis en CentroGeo, sus conocimientos y formar parte de mi comité académico.

A mis sinodales, Leticia Gómez, Rocío Alanís y Abraham Navarro por la retroalimentación, comentarios y sugerencias hacia este trabajo.

A Fernanda Flores, por estar en los mejores y peores momentos a través de la realización de este proyecto.

A Nirani Corona y José Madrigal por ayudar a mejorar ciertas deficiencias en mi formación académica.

ÍNDICE

Siglas y acrónimos utilizados.....	vi
Índice de figuras.....	vii
Índice de tablas.....	viii
Índice de mapas.....	x
Introducción.....	1
1. Marco teórico.....	3
1.1. Degradación y pérdida de la biodiversidad.....	3
1.1.1. Biodiversidad y su importancia.....	3
1.2. Servicios Ecosistémicos.....	6
1.2.1. Clasificación de Servicios Ecosistémicos.....	7
1.3. Políticas públicas ambientales.....	11
1.3.1. Políticas Ambientales en México.....	13
1.3.2. Programa de Áreas Naturales Protegidas.....	14
1.4. Instrumentos de política pública ambiental.....	17
1.4.1. Pago Por Servicios Ambientales.....	17
1.4.2. Programa de Conservación de Maíz Criollo.....	19
1.4.3. Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación.....	20
1.5. Caso de Chiapas.....	21
2. Marco Geográfico.....	22
2.2. Descripción biofísica.....	23
2.3. Descripción socioeconómica.....	23
3. Metodología.....	32
3.1. Serie de uso de suelo y vegetación.....	34
3.1.1. Análisis histórico de cambio de uso de suelo y vegetación.....	34
3.1.2. Cambios de uso de suelo.....	35
3.2. Estudio de variables explicativas.....	36
3.2.1. Cartografía participativa.....	38
3.2.2. Incendios.....	39
3.3. Máquinas de aprendizaje.....	40
3.3.1. Redes neuronales artificiales.....	41

3.4. V de Cramer.....	43
3.6. Modelación prospectiva.....	44
3.6.1. Matriz de Markov.....	44
4. Análisis y Discusión de Resultados.....	46
4.1. Cambio de uso de suelo y vegetación 1993-2011.....	46
4.2. Variables explicativas biofísicas de cambio.....	49
4.3. Variables explicativas antropogénicas de cambio.....	53
4.4. Cartografía Participativa.....	55
4.4. Modelación Prospectiva.....	63
4.5. Instrumentos Ambientales.....	70
5.Conclusiones.....	75
6. Bibliografía.....	77
ANEXO 1: Land Change Modeler.....	85

SIGLAS Y ACRÓNIMOS UTILIZADOS

ADVC: Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación

ANP: Área Natural Protegida

ANPs: Áreas Naturales Protegida

CentroGeo: Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial

CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

CONAFOR: Comisión Nacional Forestal

CONANP: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GIZ: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH

GRNN: Redes Neuronales de Regresión General

IMT: Instituto Mexicano del Transporte

INE: Instituto Nacional de Ecología

KNN: Redes Neuronales Kohonen

LCM: Land Change Modeler

LGEEPA: Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección Ambiental

MDE: Modelo Digital de Elevación

MDN: Redes de Densidad de Mezcla

MLP: Perceptrón Multicapa

ONG: Organización No Gubernamental

PGIS: Sistema de Información Geográfica Participativo

PNN: Redes Neuronales Probabilísticas

PROMAC: Programa de Conservación de Maíz Criollo

PSA: Pago por Servicios Ambientales

RNA: Redes Neuronales Artificiales

RBF: Redes de Función de Bases Radial

SE: Servicios Ecosistémicos

SEMARNAT: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SEPLAN: Secretaría de Planeación del Gobierno de Chiapas

SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

UNICACH: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

Índice de Figuras

Figura 1.1: Distribución de ANPs (CONANP, 2017).....	15
Figura 2.1: Población total de área de estudio (INEGI, 2015).....	24
Figura 2.2: Pirámide Poblacional de acuerdo con INEGI, 2015.....	25
Figura 2.3: Población ocupada por sector económico (INEGI, 2015).....	25
Figura 3.1: Diagrama de flujo de marco metodológico (Elaboración propia).....	33
Figura 3.2: Clasificación de Categorías de Uso de Suelo y Vegetación (Tomado de Ordoñez R. y Medina F., 2017).....	35
Figura 3.3: Esquema de Red Neuronal Artificial (Serrano, 2009).....	43
Figura 4.1. Tasa de cambio de uso de suelo 1992-2011.....	47
Figura 4.2: Producción Pecuaria en el periodo 1993-2016 (SIAP, 2017).....	48
Figura 4.3: Explicación de la cartografía participativa para la generación de información.....	55
Figura 4.4: Mapeo de comunidades con proyectos que contribuyen o afectan los SE.....	56
Figura 4.5: Ejecución de Transiciones y Agentes de Cambio de Escenario Tendencial.....	60
Figura 4.6: Ejecución de Transiciones y Agentes de Escenario Tendencial sin Instrumentos Ambientales.....	61

Índice de Tablas

Tabla 1.1: Especies de México (Llorente-Bousquets, J. y S. Ocegueda, 2008).....	4
Tabla 1.2: Factores directos que impactan la biodiversidad (Sarukhán, 2009).....	5
Tabla 1.3: Categorías de servicios ecosistémicos, por <i>Millenium Ecosystem Assessment (2005)</i>	7
Tabla 1.4: Gasto Presupuestal en Protección al ambiente (Millones de pesos), (INEGI, 2015).....	11
Tabla 1.5: Categorías de ANPs (CONANP, 2017).....	14
Tabla 1.6: Evolución del presupuesto PSA (CONEVAL,2015).....	17
Tabla 1.7: Apoyos en PROMAC, (CONANP, 2016).....	18
Tabla 1.8: Apoyo económico otorgado de acuerdo con PROMAC (CONANP, 2016).....	18
Tabla 2.1: Extensión por ANP (CONANP, 2015).....	26
Tabla 2.2: Extensión de zonas núcleo de acuerdo con cada ANP (CONANP, 2013).....	29
Tabla 2.3: Uso de Zonas de Amortiguamiento (CONANP, 2013).....	31
Tabla 3.1: Descripción de agentes de cambio.....	37
Tabla 3.2: Rango de relación entre las variables de acuerdo con Siegel (1972).....	44
Tabla 4.1. Cambios de uso de suelo por has, en el periodo de 1993 a 2011.....	46
Tabla 4.2: Transiciones de coberturas 1993-2011.....	47
Tabla 4.3: Correlación de variables biofísicas con usos de suelo y vegetación.....	49
Tabla 4.4: Correlación de variables antropogénicas con usos de suelo y vegetación.....	53
Tabla 4.5: Correlación de variables de capa de conocimiento con usos de suelo y vegetación.....	58
Tabla 4.6: Transiciones potenciales con variables explicativas de Escenario Tendencial.....	60
Tabla 4.7: Transiciones potenciales con variables explicativas de Escenario Tendencial sin Instrumentos Ambientales.....	61
Tabla 4.8: Resultados estadísticos obtenidos mediante RNA (Elaboración propia).....	62
Tabla 4.9: Matriz de cambio 2011- 2039 (Elaboración propia).....	63
Tabla 4.10: Datos estadísticos comparativos de Sierra Madre de Chiapas.....	67

Tabla 4.11: Superficie de cambios en la ANP “La Frailescana”	68
Tabla 4.12: Superficie de cambios en la ANP “El Triunfo”	68
Tabla 4.13: Superficie de cambios en la ANP “La Sepultura”	69
Tabla 4.14: Superficie de Cambios en la ANP “Volcán Tacaná”	69
Tabla 4.15: Cambios de la cobertura de bosques y selvas en Maíz Criollo	72
Tabla 4.16: Cambios de la cobertura de Bosques y selvas en PSA	72
Tabla 4.17: Cambios de la cobertura de bosques y selvas en ACV	73
Tabla 4.18: Cobertura de bosques y selvas en ANPs por instrumento	73

Lista de Mapas

Mapa 2.1: Localización geográfica del área de estudio.....	23
Mapa 4.1: Cambios de uso de suelo en el área de estudio.....	48
Mapa 4.2: Posibilidad de evidencia.....	51
Mapa 4.3: Modelo Digital de Elevación.....	51
Mapa 4.4: Pendiente.....	52
Mapa 4.5: Distancia euclidiana a incendios.....	52
Mapa 4.6: Distancia euclidiana a localidades.....	54
Mapa 4.7: Distancia euclidiana a carreteras.....	54
Mapa 4.8: Registros de actividades finales por localidad.....	57
Mapa 4.9: Distancia euclidiana de actividades en favor y en contra de servicios ecosistémicos.....	59
Mapa 4.10: Escenario Tendencial 2039 en Sierra Madre de Chiapas.....	65
Mapa 4.11: Escenario Tendencial 2039 sin Instrumentos en Sierra Madre de Chiapas	66
Mapa 4.12: Distribución de Instrumentos Ambientales en Sierra Madre de Chiapas.....	71

Introducción

El desarrollo de las actividades productivas e industriales para satisfacer las necesidades humanas en los últimos años en México ha propiciado el deterioro de los ecosistemas, los cuales derivan diferentes cambios de uso de suelo y procesos de degradación. Las principales problemáticas ambientales se evidencian en el mal manejo y sobreexplotación de los recursos naturales, lo cual puede estar asociado a fallas institucionales y el incumplimiento de las leyes y normas ambientales, así como una contraposición con otros apoyos gubernamentales que incentivan la producción de alimentos.

Para contrarrestar estos efectos adversos, se elaboran y diseñan políticas públicas ambientales, cuyos diversos instrumentos se utilizan para el mantenimiento, mejoramiento y conservación del capital natural. Un ejemplo de ello es la creación de Áreas Naturales Protegidas (ANPs), programas de pago por servicios ambientales, áreas de conservación voluntaria, entre otros.

Partiendo de los estudios previos reportados en la tesis de Licenciatura *Modelo de Calidad de Hábitat y Corredores para la Evaluación y Mapeo de Servicios Ecosistémicos en el Complejo Sierra Madre de Chiapas*, el estudio se enmarca en el proyecto “Valoración Económica de Servicios Ecosistémicos en el Complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas” del Fondo sectorial Conacyt-Semarnat; el cual busca contribuir al conocimiento y coadyuve a la evaluación de los instrumentos de política pública ambiental a través de desarrollar modelos prospectivos de cambios de uso de suelo para la identificación de su efectividad en Sierra Madre de Chiapas.

Con base en lo expuesto, el objetivo general del presente trabajo consiste en evaluar el impacto de los instrumentos de política pública ambiental en la expansión de sistemas agropecuarios a partir de la dinámica de cambio de suelo en el conjunto de ANPs de la Sierra Madre de Chiapas y áreas contiguas [bajo la hipótesis de que] existe un efecto de contención de los instrumentos de política pública ambiental respecto a la expansión de la frontera agropecuaria. A partir de la integración de los siguientes objetivos particulares se enuncian a continuación:

- Analizar el cambio de uso de suelo histórico del área de estudio;
- identificar y localizar los instrumentos de política pública ambiental;
- identificar y analizar impulsores de cambio que incidan en el cambio de uso de suelo;
- generar escenarios prospectivos de uso de suelo y vegetación en asociación a la presencia o ausencia de instrumentos de política pública y;
- determinar si los instrumentos de política ambiental juegan un papel importante en los cambios de cobertura de suelo y vegetación.

Para alcanzar los objetivos propuestos en este trabajo, se plantean cuatro fases metodológicas: a) análisis histórico de cambio de uso de suelo y vegetación, b) estudio de variables explicativas, c) taller de cartografía participativa e instrumentos de política ambiental y d) modelación prospectiva.

1. Marco teórico

1.1. Degradación y pérdida de la biodiversidad

1.1.1. Biodiversidad: importancia y pérdida

El término biodiversidad tiene origen en el campo de la biología de la conservación, en donde instituciones académicas y organismos nacionales e internacionales toman el interés por la pérdida de especies y ecosistemas por causas antropogénicas. A partir de ello, el concepto ha sido modificado y adaptado a nuevos temas (Gaston y Spicer, 1998).

Aunque se cree que el concepto surge a principios de los ochenta con Lovejoy (1980) y Mc Manus (1980), es hasta 1988 con Wilson que se populariza el concepto de biodiversidad, el cual sintetiza la relación que existe entre genes, especies y ecosistemas (Nogués, 2003). Para Art (1993), la biodiversidad es la cantidad y abundancia relativa de todas las especies que viven en un área en particular; mientras que De Long (1996), la define como el estado o atributo de un lugar refiriéndose a la variedad dentro y entre microorganismos vivos, comunidades y procesos bióticos que ocurren de manera natural, la cual puede ser medida a través de la diversidad genética y la variabilidad de distintas especies.

En las últimas décadas, la conservación de la biodiversidad se ha vuelto objeto y objetivo de organismos internacionales, gobiernos nacionales, comunidades locales e incluso, individuos. Producto de lo anterior es el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el cual ha determinado que son 17 países los que cuentan con una riqueza biológica sobresaliente, por lo que los han llamado “megadiversos”, su localización geográfica se ubica principalmente en América (Brasil, Costa Rica, Colombia, Ecuador, México y Perú) y Asia (Australia, China, Nueva Guinea, Indonesia, Kenia y Papúa), los cuales albergan el 70% de las especies del planeta (Badii, 2015).

México ocupa el quinto lugar con mayor biodiversidad en el mundo, de acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), de las más de 1 millón 729 mil especies en el mundo, México posee poco más de 150 mil especies (Tabla 1.2) (Llorente-Bousquets, J. y S. Ocegueda, 2008).

Grupo		Especies en el mundo	Especies en México	Porcentaje
Animales	Mamíferos	4 381	535	12.21
	Aves	9 271	1 096	11.82
	Reptiles	8 238	804	9.76
	Ranas y sapos	4 780	361	7.55
	Peces	27 977	2 692	9.62
	Ciempiés y milpiés	15 200	585	3.85
	Arañas y alacranes	92 909	55 799	60.06
	Insectos	915 350	47 853	5.23
	Cangrejos y camarones	44 920	5 387	11.99
	Estrellas y erizos	7 000	503	7.19
	Caracoles, almejas y pulpos	93 195	4 100	4.40
	Lombrices y gusanos marinos	16 500	1 393	8.44
	Rotíferos	1 800	303	16.83
	Gusanos planos	20 000	550	2.75
	Medusas y corales	10 000	318	3.18
	Esponjas	5 500	268	4.87
Plantas	Magnolias y margaritas	199 350	19 065	9.56
	Palmeras y pastos	59 300	4 726	7.97
	Cícadras y pinos	980	150	15.31
	Helechos	13 025	1 067	8.19
	Musgos y hepáticas	19 900	1 482	7.45
	Algas	27 000	2 702	10.01

Tabla 1.1: Especies de México (Llorente-Bousquets, J. y S. Ocegueda, 2008).

Una de las razones por las que México cuenta con un elevado grado de biodiversidad se debe su posición geográfica privilegiada, en la que se traslapan dos regiones biogeográficas (neártica y neotropical); su complicado relieve debido a la presencia de sierras y montañas que se elevan más allá de los 4500 metros sobre el nivel del mar; y una compleja historia geológica. Estas características hacen del territorio nacional un espacio sumamente heterogéneo con mosaicos de diversos climas y suelos (Jiménez-Sierra y del Río, 2010).

Los ecosistemas naturales de México han sido utilizados por humanos durante milenios; sin embargo, el grado de impacto más notable ha tenido lugar en los últimos 50 a 100 años. Este periodo se caracteriza por una tasa muy alta de cambio en la cobertura de la vegetación y el uso de suelo, de los cuales destaca la degradación y la pérdida de la biodiversidad (Challenger et al., 2009).

Debido al aumento en las presiones que ejercen las poblaciones humanas en constante crecimiento y el desarrollo de la agricultura moderna, la biodiversidad ha perdido su importante papel en los sistemas biológicos. Esta tendencia ha ocasionado la rápida destrucción de la biodiversidad local y regional en los sistemas agrícolas, despreciando a la vegetación natural y la fauna silvestre como recurso natural (Núñez, 2003). Ello sucede porque al descansar la agricultura moderna en una menor variedad de cultivos y en el uso intensivo de fertilizantes, riego y pesticidas para el control de plagas y malezas, ha originado cultivos estables, pero con una significativa reducción de la diversidad genética de las cosechas más utilizadas y del ganado. Articulados a estos modernos patrones de producción primaria, existen otros factores que amenazan la biodiversidad (Leemans, 1999).

Los principales factores que causan la degradación y pérdida de la biodiversidad son las actividades antropogénicas, cuyos efectos en los bienes y servicios ecosistémicos se obtienen de ellos. Esto se resume en la siguiente tabla:

Pérdida de biodiversidad	
Causa	Consecuencia
Una de las principales causas de la pérdida de la biodiversidad debido a la gran tasa de cambio de uso de suelo, al modificar los bosques en campos agrícolas y ganaderos.	Pérdida de hábitats
Introducción de especies exóticas que modifican las cadenas tróficas y causan problemas ambientales, económicos y sociales.	Especies invasoras
Debido al abuso desmedido de la cacería, tala, pesca de flora y fauna, poniendo en riesgo ecosistemas provocando la extinción de especies fundamentales.	Sobreexplotación
Las actividades antropogénicas como son las zonas industriales, agrícolas y ganaderas contribuyendo a la contaminación y degradación del agua, aire y suelo. Incentivando que las problemáticas de escala local tengan un impacto en la región hasta llegar a problemas mundiales.	Contaminación
La quema de combustibles fósiles y la deforestación produce emisión de gases de efecto invernadero como son: bióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, ozono, clorofluorocarbonados ('CFC). Como consecuencia se modifica la distribución de los ecosistemas, derretimiento de glaciares, aumento del nivel del mar, fenómenos meteorológicos atípicos, sequías y lluvias extremas.	Cambio climático

Tabla 1.2: Factores directos que impactan la biodiversidad (Sarukhán, 2009).

Estas consecuencias repercuten de manera directa e indirecta a la flora y fauna de los ecosistemas, modificando así ciclos biogeoquímicos y generando pérdida de especies y de servicios ecosistémicos. Dichos servicios brindan a los seres humanos una serie de beneficios asociados a la alimentación, salud y cultura (Loa *et al.*, 1998).

1.2 Servicios ecosistémicos

Es esencial determinar con precisión qué es un servicio y cuales funciones ambientales pueden ser consideradas como tal. En la literatura existen diversas aproximaciones del concepto de servicios ecosistémicos (SE) en donde destacan las siguientes:

- Las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que lo constituyen, sustentan y satisfacen a la vida humana (Daily, 1997).
- Los bienes (como alimentos) y servicios (como asimilación de residuos) de los ecosistemas que representan los beneficios que la población humana obtiene, directa o indirectamente, de las funciones de los ecosistemas (Costanza *et al.*, 1997).
- Los beneficios que los seres humanos obtienen de las funciones de los ecosistemas. Estos beneficios pueden ser de una manera directa como es la provisión de agua y alimentos, o de forma indirecta como es la regulación de clima y calidad de aire, así como los diversos ciclos biogeoquímicos (de Groot *et al.*, 2002).
- Los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas (MA, 2003).
- Las funciones o procesos ecológicos que directa o indirectamente contribuyen al bienestar humano o tienen un potencial para hacerlo en el futuro (U.S. EPA, 2004).
- Los componentes de la naturaleza, disfrutados, consumidos o directamente usados para producir bienestar humano (Boyd y Banzhaf, 2007).
- Los aspectos de los ecosistemas utilizados de manera pasiva o activa para producir bienestar humano (Fisher y Turner., 2009).

1.2.1 Clasificación de Servicios Ecosistémicos

Millenium Ecosystem Assessment (2003), en conjunto con científicos de 95 países, entre 2001 y 2005 elaboró un sistema de clasificación con propósitos puramente operacionales basado en cuatro líneas funcionales dentro del marco conceptual de la misma organización (Tabla 1.3). De acuerdo con esto, los servicios ecosistémicos se clasifican en:

- I. *Servicios de provisión.* Los cuales se entienden todos aquellos que pueden brindar un elemento que permita el bienestar y/o desarrollo humano.
- II. *Servicios de regulación.* Son aquellos beneficios obtenidos de los procesos ecosistémicos, actuando como reguladores.
- III. *Servicios culturales.* Son beneficios no materiales que se obtienen de los ecosistemas a través de enriquecimiento espiritual, reflexión, recreación, y experiencias estéticas.
- IV. *Servicios de soporte.* A diferencia de los anteriores, estos son indispensables debido a que son los producen el resto de los servicios ecosistémicos y es la base del funcionamiento de un ecosistema.

Servicios de Provisión: • Alimento • Materias Primas • Agua Fresca. • Recursos Medicinales	Servicios de Regulación: • Regulación de clima y calidad de aire • Captura y almacenamiento de carbono • Moderación de eventos extremos • Tratamiento de aguas residuales • Prevención de erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo • Polinización • Control biológico	Servicios Culturales: • Salud recreacional, mental y física. • Turismo. • Apreciación estética e inspiración para la cultura, arte y diseño. • Experiencias espirituales y sentido del lugar
Servicios de Soporte o Hábitat: • Hábitat de especies • Mantenimiento de la diversidad genética. • Formación de suelo • Fotosíntesis • Ciclos biogeoquímicos		

Tabla 1.3: Categorías de servicios ecosistémicos. (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

De acuerdo con lo anterior, *The Economics of Ecosystems & Biodiversity (2017)* define un desglose para cada categoría de la siguiente manera:

Servicios de Provisión:

1. *Alimentos*. Los ecosistemas proporcionan las condiciones necesarias para cultivar alimentos; en hábitats salvajes y ecosistemas agrícolas gestionados.
2. *Materias primas*. Los ecosistemas proporcionan una gran diversidad de materiales para la construcción y su uso como combustibles.
3. *Agua dulce*. Los ecosistemas proporcionan aguas superficiales y subterráneas.

Servicios de Regulación:

1. *Regulación del clima local y calidad del aire*. Los árboles proporcionan sombra y eliminan contaminantes de la atmósfera. Los bosques influyen en las precipitaciones.
2. *Captura y almacenamientos de carbono*. Cuando los árboles y otras plantas crecen, extraen dióxido de carbono de la atmósfera y lo atrapan eficazmente en sus tejidos.
3. *Moderación de eventos extremos*. Los ecosistemas y organismos vivos crean amortiguadores frente a peligros naturales como inundaciones, tormentas o deslizamientos de tierra.
4. *Tratamientos de aguas residuales*. Los microorganismos de los suelos y los humedales descomponen los desechos humanos y animales, así como numerosos contaminantes.
5. *Prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo*. La erosión del suelo es un factor clave en el proceso de degradación de los suelos y desertificación.
6. *Polinización*. Alrededor de 87 de los 115 principales cultivos alimentarios del mundo dependen de la polinización por animales, incluidos importantes cultivos comerciales como el cacao y el café.
7. *Control biológico*. Los ecosistemas son importantes para regular plagas y enfermedades transmitidas por vectores.

Servicios Culturales:

1. *Recreación y salud mental y física*. Cada vez cobra más fuerza el papel que los paisajes naturales y zonas verdes desempeñan en el mantenimiento de la salud mental y física.

2. *Turismo*. El turismo de la naturaleza genera beneficios económicos considerables y es una fuente vital de ingresos para muchos países.
3. *Apreciación estética e inspiración para la cultura, el arte y diseño*. El lenguaje, el conocimiento y la apreciación del entorno natural son aspectos que han estado íntimamente relacionados a lo largo de la historia de la humanidad.
4. *Experiencia espiritual y sentimiento de pertenencia a un lugar*. La naturaleza es un elemento común a todas las principales religiones. Además, los paisajes naturales conforman la identidad local y crean un sentimiento de pertenencia en el lugar.

Servicios de Soporte:

1. *Hábitats para las especies*. Los hábitats proporcionan todo lo que una planta o animal individual necesita para sobrevivir. Las especies migratorias necesitan hallar hábitats propicios a lo largo de su ruta migratoria.
2. *Mantenimiento de la diversidad genética*. La diversidad genética se traduce en diferentes variedades o razas, lo que proporciona la base para cultivares locales bien adaptados y una reserva de genes para seguir mejorando los cultivos y ganados comerciales.

El propósito principal de estudiar y clasificar los distintos SE es el conocer el funcionamiento del sistema ecológico, de crucial importancia considerando el contexto social y político, los cuales serán los principales actores que hagan uso de ellos. Los SE tienen la potencialidad de volverse una herramienta para el manejo de políticas públicas y la toma de decisiones a nivel global, nacional, regional y local. Sus posibles aplicaciones son numerosas: desde un manejo sustentable de recursos, optimización del uso de suelo, protección ambiental, conservación y restauración de la biodiversidad, planificación del territorio, regulación climática hasta reducción de riesgo de desastres, entre otros (Camacho, V. y Ruiz, A., 2012).

México, a pesar de ser país megadiverso y en búsqueda de crecimiento económico, ha ejercido una presión importante sobre el capital natural. Esto ha traído consigo afectaciones ambientales como son la degradación del suelo, disponibilidad del agua dulce, contaminación del aire, mal manejo de residuos sólidos, prácticas agrícolas y

ganaderas no sustentables, tráfico ilegal de especies amenazadas, deforestación, entre otras (Guevara, 2005).

La preservación de los SE en un buen estado debería ser objetivo de todos los países del planeta. No obstante, esto se confronta con un crecimiento económico. En una búsqueda por aliviar la tensión que se establece entre ambos objetivos, ha surgido en el transcurso del siglo XX un nuevo ámbito de políticas públicas: la política ambiental (Guevara, 2005).

1.3 Políticas públicas ambientales

La política ambiental es la actividad humana destinada a ordenar jurídicamente al medio ambiente cuando se encuentra en interacción con la vida social humana, consistente en acciones ejecutadas con intención de influir, obtener, conservar, crear, extinguir o modificar el poder, la organización y el ordenamiento de la comunidad relacionada con el medio ambiente (Morales, 2008).

La política ambiental es una pieza fundamental para la gestión ambiental, tanto así que su existencia determina el camino que debe seguir esa gestión. De la claridad y congruencia de la política ambiental dependerá la eficiencia y el éxito de la gestión ambiental para un país determinado (Brañez, 2000).

El objetivo principal de este tipo de políticas es tratar de manera estratégica los distintos problemas que resultan a causa de falta de conservación de los ecosistemas, el desmedido y mal uso de los recursos naturales. Esto se logra promoviendo la sustentabilidad, así como fijando compromisos y tareas ambientales propias para el mejoramiento de los sistemas institucionales, sociales, económicos, ambientales, entre otros (Ortega, 2012).

De acuerdo con Quintana (2000), la política ambiental puede ser formulada a través de tres vías, ya que la manera en que está enunciada dicha política se deriva el alcance de ésta. La explicación de la política ambiental es de las siguientes vías:

- Vía legislativa: Brañez (2000) establece que esta vía se formula mediante el sistema jurídico previsto para la elaboración de leyes, a través del proceso legislativo. Además, es el instrumento jurídico que concentra las principales

políticas ambientales; las normas que se emiten mediante esta vía son jerárquicamente superiores a cualquier otra, siendo obligatoria para el estado y la sociedad.

- Vía administrativa: ésta procede de la legislación Federal por autoridades facultadas por dicha legislación para llevar a cabo la gestión ambiental. En México, el órgano que está facultado por la legislación federal es la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Esto permite a dicho órgano a participar en la adopción de instrumentos económicos dirigidos a la protección, restauración y conservación del medio ambiente (Brañez, 2000).
- Vía de la planeación: ésta consiste en identificar los objetivos generales de una institución o de un conjunto de instituciones a corto, mediano y largo plazo; definir las políticas o estrategias para alcanzar esos objetivos, ordenarlos de acuerdo a prioridades; establecer el marco normativo dentro del cual se desenvuelven las acciones de la institución y dar las bases para poder realizar las otras funciones generales de la administración: la programación, el financiamiento, la administración de personal, el control y evaluación de resultados (Quintana, 2000).

En México, el costo ambiental por degradación ha ido en aumento conforme al paso de los años, de acuerdo con las Cuentas Económicas y Ecológicas de México (INEGI, 2015); es decir, no existen políticas públicas ambientales eficientes que tengan la capacidad para mermar la degradación (Tabla 1.4):

Año	Costo ambiental por degradación	Gasto público en protección ambiental
2003	520 123.51	40 009.51
2004	534 707.42	43 620.49
2005	562 583.23	52 973.49
2006	579 479.12	61 383.19
2007	605 058.47	76 017.93
2008	622 660.56	90 809.74
2009	641 648.47	98 531.08
2010	645 695.00	107 999.51
2011	668 735.56	129 630.88
2012	722 589.15	126 029.30
2013	737 114.71	117 224.92
2014	741 558.21	118 654.07
2015	784 757.48	112 389.10

Tabla 1.4: Gasto Presupuestal en Protección al ambiente (Millones de pesos), (INEGI, 2015).

Para lograr una serie de cambios en las prácticas de los recursos naturales y una economía que tienda al desarrollo sustentable, y con ello se involucre a los distintos sectores de la sociedad, se desarrollan un conjunto de instrumentos de política ambiental, los cuales pueden resultar más eficaces (Aguilar, 2014).

1.3.1 Políticas Ambientales en México

Si bien en nuestro país, la política ambiental no se ha formulado claramente, ya que presenta ciertas deficiencias como es el grave estado del medio ambiente, los elevados costos sociales y ambientales, el mal manejo de los recursos (Calderón, 2010), ha tenido avances significativos como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección Ambiental (LGEEPA), creada en enero de 1988, la cual tiene como objetivo de orden público e interés social el desarrollo sustentable y el establecimiento de las bases para la política ambiental nacional y la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la protección al ambiente en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción (LGEEPA, 1997).

Se establece en la LGEEPA, en el capítulo I, los siguientes instrumentos de política ambiental:

- A. *Ordenamiento ecológico del territorio*: de acuerdo con la LGEEPA, se entiende al proceso de planeación dirigido a evaluar y programar el uso del suelo y el manejo de los recursos naturales en el territorio nacional, para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el ambiente (LGEEPA, 1997).
- B. *Instrumentos económicos*: se definen como mecanismos normativos y administrativos, mediante los cuales las personas asumen beneficios y costos ambientales que generan sus actividades económicas y se les incentiva a realizar acciones que favorezcan el ambiente (LGEEPA, 1997).
- C. *Regulación ambiental de los asentamientos humanos*: el propósito de este es vincular las acciones que se realicen para la planeación de los asentamientos con la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente (LGEEPA, 1997).
- D. *Evaluación del impacto ambiental*: establece evaluar obras y actividades de tipo industrial, desarrollos inmobiliarios, obras y actividades cerca de las costas,

humedades, lagunas, ríos, esteros, así como en litorales o zonas federales, pesqueras, acuícolas o agropecuarias que generen o puedan generar efectos significativos sobre el ambiente o sus recursos naturales y pongan en peligro la preservación de las especies (LGEEPA, 1997).

- E. *Normas Oficiales Mexicanas en Materia Ambiental (NOMS)*: establece realizar un régimen de normalización ambiental sobre las industrias con más altas emisiones, así como una regulación de estas y realizar un cambio estructural en términos de una economía sustentable (LGEEPA, 1997).
- F. *Autorregulación y auditorías ambientales*: establece la certificación voluntaria ambiental a través de cambios tecnológicos, así como auditorías ambientales de carácter preventivo y correctivo con el objetivo ajustar las actividades de las industrias en la legislación ambiental (LGEEPA, 1997).
- G. *Investigación y educación ecológica*: promueve diversos contenidos ecológicos en los diversos niveles de educación, particularmente básico, así como una implementación en su cultura cívica (LGEEPA, 1997).

Para alcanzar los anteriores fines, el Estado establece acuerdos, decretos, circulares y la aplicación de la política ambiental, así como la elaboración de distintos programas, dentro de los que destacan el Programa Nacional Hidráulico, el Programa Nacional Forestal y el Programa de Áreas Naturales Protegidas (Aguilar, 2014).

1.3.2 Programa de Áreas Naturales Protegidas

Para el cumplimiento de las políticas ambientales, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) integra de una manera conjunta las interrelaciones de agua, aire, suelo, recursos forestales, componentes de la diversidad biológica, con aspectos sociales y económicos de las poblaciones presentes en las regiones prioritarias para la conservación. Con ello, establece el objetivo principal de conservar el patrimonio natural y cultural de México en conjunto de los procesos ecológicos a través de Áreas Naturales Protegidas (ANPs) y sus diversos programas de Desarrollo Regional Sustentable en Regiones Prioritaria asegurando la biodiversidad y los recursos naturales (Aguilar, 2014).

Con el fin de atender lo planteado, la CONANP plantea los siguientes objetivos particulares:

- A. Protección de los ecosistemas y su biodiversidad, que incluye acciones de vigilancia, mitigación de la vulnerabilidad ante fenómenos naturales, protección contra incendios forestales y sanidad forestal.
- B. Promover el uso de los ecosistemas, sus bienes y servicios, con criterios de sustentabilidad, involucrando a los grupos indígenas y rurales en el diseño, propiedad y operación de actividades productivas.
- C. Restauración de ecosistemas, recuperación de especies en riesgo y mantenimiento o incremento de la conectividad ecológica.
- D. Gestión de acciones relacionadas con la integración de sistemas de áreas de conservación, el fomento de la transversalidad de políticas públicas, la procuración de recursos, la compensación por servicios ambientales, la regularización de la tenencia de la tierra y elaboración de programas de manejo de las áreas naturales protegidas.

De acuerdo con CONANP (2017), en México se cuenta con 182 ANPs decretadas (tabla 1.5), que protegen un total de 90 839 521.55 hectáreas (figura 1.1).

Número de ANPs	Categoría	Superficie (ha.)
44	Reservas de la Biosfera	12 652 787
67	Parques Nacionales	1 398 517
5	Monumentos Naturales	16 268
8	Áreas de Protección de Recursos Naturales	4 440 078
40	Áreas de Protección de Flora y Fauna	6 740 875
18	Santuarios	146 254
Superficie atendida		25 394 779

Tabla 1.5: Categorías de ANPs. (CONANP, 2017).

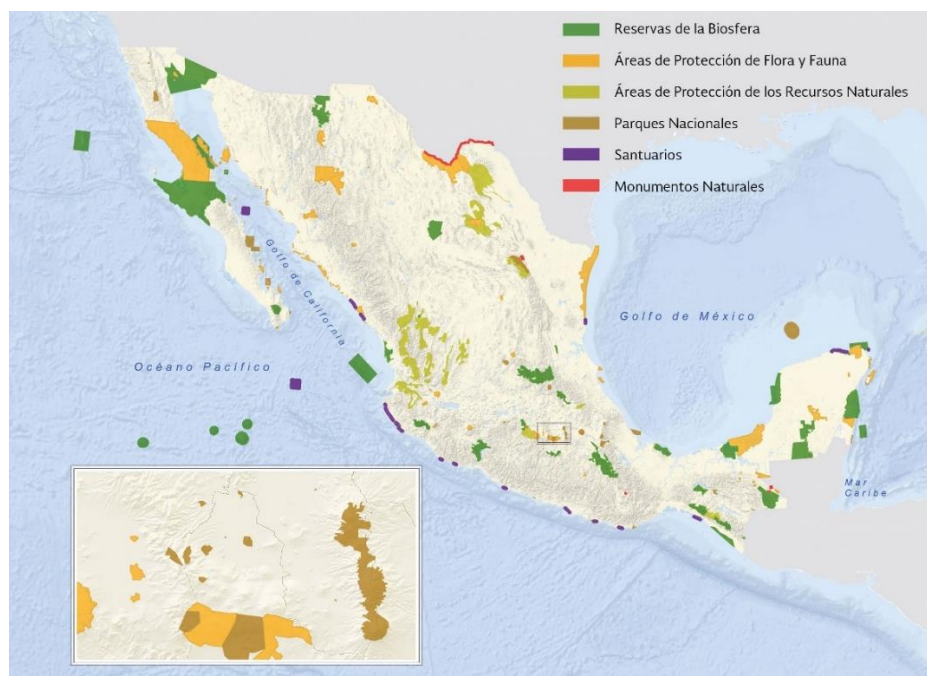


Figura 1.1: Distribución de ANPs. (CONANP, 2017).

En síntesis, las ANPs constituyen porciones terrestres o acuáticas del territorio nacional representativas de los diversos ecosistemas, en donde el ambiente original no ha sido sustancialmente alterado o bien, que contribuyen y coadyuvan de manera positiva a la conservación de la biodiversidad y de los ecosistemas para el beneficio de la población local y nacional, así como proveer una serie de beneficios y servicios ecosistémicos (CONANP, 2017).

Debido a la gran diversidad de ecosistemas, especies y poblaciones terrestres, dulceacuícolas, y marinas presentes en México, la cobertura actual de ANPs todavía es insuficiente para mantener un sistema representativo, complementario, interconectado y con la redundancia suficiente que favorezca la conservación efectiva y a largo plazo, tanto de la biodiversidad como de los servicios ambientales y ecosistémicos que estos espacios brindan a la sociedad pues contrarrestan los efectos del cambio climático (Bezaury-Creel, 2009).

Para la conservación de las actuales ANPs, se promueve el desarrollo de incentivos económicos para el fomento de actividades sustentables. Dichos estímulos son de carácter financiero y fiscal que ayudan a fomentar, motivar e incentivar la conducta de los individuos para reducir la contaminación y degradación de los recursos naturales (Calderón, 2010).

1.4 Instrumentos de política pública ambiental

Los instrumentos de política pública ambiental buscan reducir las externalidades negativas ambientales, los cuales pretenden regular, de una manera legislativa, los recursos naturales, manejo ambiental de sustancias y residuos peligrosos; prevención y control de la contaminación atmosférica; reducción de riesgos ambientales; conservación y restauración de suelos; y protección de especies, entre otros (Aguilar, 2014).

En México, una de las principales instituciones en llevar a cabo políticas públicas ambientales que conserven los ecosistemas más representativos y protejan la biodiversidad es la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). La institución está orientada en la creación de ÁNPs que ayuden a proteger la riqueza biológica; se logra mediante la creación de diversos programas e instrumentos ambientales que integren a la sociedad y aprovechamiento de los recursos de una manera sustentable (CONANP, 2017).

Dichos instrumentos determinan las estrategias de conservación y el uso de las ANPs (tal es el caso de la Sierra Madre de Chiapas), en donde a través de los programas de Pago por Servicios Ambientales (PSA), Programa de Conservación de Maíz Criollo (PROMAC) y Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC) se buscan generar actividades productivas alternativas que promuevan mecanismos de conservación y aprovechamiento de los ecosistemas de una manera sustentable.

1.4.1 Pago por Servicios Ambientales (PSA)

El Pago por Servicios Ambientales (PSA) es entendido como una transferencia de recursos entre actores con el objetivo de crear incentivos que permitan alinear las decisiones individuales o colectivas sobre el uso de la tierra y los intereses sociales acerca del manejo de recursos naturales; esto permite reconocer el valor ambiental que proporcionan los ecosistemas forestales y contribuyen a la protección de cuencas, biodiversidad, captura de carbono, entre otros (Muradian et al., 2010). PSA fue desarrollado para otorgar incentivos económicos a los dueños de terrenos forestales,

con el fin de conservar y evitar los cambios de uso de suelo o la tala ilegal de los bosques (Aguilar, 2014).

Durante el 2003, la CONAFOR implementa el Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), el cual tiene por objetivo conservar las áreas de bosque que permitan la recarga hídrica para garantizar el suministro de agua (Aguilar, 2014). En 2004 se crea el Programa para Desarrollo de los Mercados Servicios Ambientales de Captura de Carbono y los Derivados de la Biodiversidad y para Fomentar el Establecimiento y Mejoramiento de los Sistemas Agroforestales (PSA-CABSA). En 2006, el programa PSA recibe asistencia financiera de parte del Banco Mundial para implementar el proyecto de Pago por Servicios Ambientales del Bosque (PSAB).

El objetivo que persiguen dichos programas es la protección y conservación de ecosistemas y biodiversidad de tipo forestal y montaña esenciales para el desarrollo de la flora y fauna de la región (Aguilar, 2014). Durante el periodo de 2008 a 2014, la CONAFOR otorgó un apoyo promedio total de 20 113 millones de pesos (Tabla 1.6).

Año	Presupuesto Ejercido (Millones de Pesos)
2008	4 134
2009	3 301.69
2010	2 697.91
2011	2 790.49
2012	2 865.77
2013	1 814.111
2014	2 509.76

Tabla 1.6: Evolución del presupuesto PSA (CONEVAL,2015).

El programa ha permitido frenar los acelerados cambios de uso de suelo en sitios estratégicos en materia de biodiversidad y ha contribuido a compensar a los dueños de terrenos forestales, por ejemplo, en las ANPs y otros sitios estratégicos por su biodiversidad (Llano, 2017).

1.4.2 Programa de Conservación de Maíz Criollo

El Programa de Conservación de Maíz Criollo (PROMAC), de acuerdo con la CONANP, se establece en 2009 derivado de la preocupación por la conservación *in situ* de los maíces criollos y sus parientes silvestres.

El objetivo del programa se basa en promover la conservación y recuperación de las variedades y razas de maíz criollo en su entorno natural. Al utilizar distintos sistemas de cultivo de acuerdo con la regiones y costumbres y apoyando a grupos campesinos con montos específicos para la conservación de la diversidad genética de los maíces criollos (CONANP, 2016), se busca lograrlo por medio de tres tipos de apoyos (tabla 1.7):

Tipos de apoyo	Conceptos de apoyo
Pago por conservación <i>in situ</i>	Consiste en el pago de acciones encaminadas a la conservación <i>in situ</i> de maíz criollo y sus parientes silvestres.
Actividades para el fortalecimiento comunitario	Apoyos destinados a promover y fomentar la conservación de las razas y variedades de maíz criollo, y su reconocimiento cultural, agronómico y biológico.
Proyectos productivos	Apoyos destinados a financiar proyectos de infraestructura y de servicio, que generen valor agregado a los productos y derivados del maíz criollo.

Tabla 1.7: Apoyos en PROMAC, (CONANP, 2016).

De acuerdo con la CONANP, desde el 2009 al 2015, en este programa se han entregado cerca de 205 millones de pesos (Tabla 1.8).

Año	Apoyo otorgado (pesos).
2009	56 853 522.76
2010	33 232 703.19
2011	33 642 445.60
2012	31 170 614.13
2013	18 548 120.63
2014	14 686 054.36
2015	17 257 466

Tabla 1.8: Apoyo económico otorgado de acuerdo con PROMAC (CONANP, 2016).

El Programa de Maíz Criollo ha permitido la siembra de 45 razas primarias en poco más de 125 mil hectáreas, así como permitir a la sociedad que adquieran el conocimiento de las variedades que siembran, fechas de siembra y cosecha (CONANP, 2016).

1.4.3 Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación

Las Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC) es otro instrumento que está incluido en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), son espacios naturales de propiedad privada, público-centralizada, público-paraestatal, comunal o ejidal, que son certificados voluntariamente por sus propietarios como ANPs y que coadyuvan a los esfuerzos de conservación del país (CONANP, 2017). En México, se cuenta con un total de 388 ADVC con una extensión de casi 417 mil hectáreas. Con estas ADVC se adquieren beneficios como es:

- I. Producción de agua, mantenimiento de arroyos, manantiales y ríos.
- II. Suelos productivos
- III. Frenar el aumento de la temperatura y detener los cambios en la temporalidad de lluvias, secas y nevadas.
- IV. Conservación de la flora y la fauna, proyectos sustentables.
- V. Recuperación de áreas perturbadas y recuperación de cambios de uso de suelo por agricultura y ganadería.

Asimismo, se propicia a desarrollar actividades enfocadas a la sustentabilidad como es la creación de Unidades para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMA), viveros, ecoturismo, aprovechamiento forestal, agricultura y ganadería. Actualmente, este tipo de programas no se incentivan de manera económica, ya que son administradas por las mismas comunidades sin alguna sostenibilidad financiera (CONANP, 2017).

1.5 Caso de Chiapas

La valoración del capital natural, la biodiversidad, así como el resguardo y restauración de los servicios ecosistémicos a través de instrumentos de protección y conservación que se han aplicado en el estado de Chiapas incluyen regiones terrestres prioritarias, Áreas Naturales Protegidas de carácter federal, estatal y municipal, áreas privadas bajo protección, áreas de protección comunal y ejidal, servidumbres ecológicas y áreas certificadas para la conservación (Secretaría de Hacienda, 2011).

Considerada la segunda entidad de México en cuanto riqueza y diversidad biológica, Chiapas posee el mayor número de Reservas de la Biosfera de México (Montes Azules, Lacantun, El Triunfo, La Encrucijada, La Sepultura, El Ocote, Volcán Tacaná) (Carabias, 1999). Sin embargo, en Chiapas se ha desarrollado la expansión de la frontera agropecuaria a expensas de bosques y selvas en ausencia de alternativas agrícolas apropiadas; la ganadería se convirtió en la forma más accesible de utilizar los recursos naturales con la doble intención de asegurar la tenencia de la tierra y de obtener algunos ingresos monetarios (Santillas *et al*, 2007). Así, también el desarrollo urbano, la especulación sobre el valor de la tierra, los proyectos de infraestructura habitacional y turística, el aprovechamiento no sustentable de los recursos naturales, la insuficiencia del manejo y ordenamiento de la afluencia turística, el cambio de uso de suelo y el establecimiento irregular de asentamientos humanos son sólo algunas de las amenazas a la biodiversidad en Chiapas (Secretaría de Hacienda, 2011).

Para frenar los procesos de deterioro en las Áreas Naturales Protegidas y circundantes, se plantean una serie de estrategias de políticas e instrumentos ambientales que permitan la conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos (Carabias, 1999).

2. Contexto geográfico

La Sierra Madre de Chiapas, ubicada al sur de México, se caracteriza por su extensión a lo largo de todo el litoral del Pacífico de Chiapas, desde el límite de la Sierra Madre del Sur en Oaxaca y llegando hasta el Istmo de Tehuantepec; también se constituye parte de las serranías centroamericanas, de tal manera que ocupa la mayor parte sur del estado (Vidal-Rodríguez *et al.*, 2014).

2.1 Descripción biofísica

La Sierra Madre de Chiapas está conformada de suelos de tipo acrisol, litosol, cambisol, y regosol. De acuerdo con Vidal-Rodríguez (*et al.*, 2014), la forman tres regiones fisiográficas:

- *La Llanura Costera del Pacífico*: franja ubicada de forma paralela al océano Pacífico, se constituye principalmente de depósitos provenientes de las montañas y cenizas volcánicas; también presenta un releve uniforme donde sólo destaca el cerro de Bernal al sur de Tonalá.
- *La Sierra Madre de Chiapas*: es un relieve accidentado con las pendientes más pronunciadas del estado de Chiapas, constituida principalmente de elevaciones que van desde los 1 000 hasta los 3 000 metros sobre el nivel del mar se considera al Volcán Tacaná con la mayor altura de 4 060 m. s. n. m Tiene una gran heterogeneidad de climas debido a la variación de altura. Podemos encontrar ecosistemas de tipo selva mediana, selva alta, bosques de pinos, bosques de encinos y bosques de niebla.
- *La Depresión Central*: compuesta de relieve particularmente plano y constituida de rocas calizas y depósitos aluviales. Anteriormente, se encontraban selvas bajas caducifolias, selvas medianas y bosques de encinos; ahora, debido a la calidad de los suelos, se encuentran terrenos de tipo agrícola.

La extensión de esta Sierra Madre permite la confluencia de cuatro ecorregiones: el bosque montano de Centro de América, el bosque húmedo de la Sierra Madre de Chiapas, el bosque seco de Centroamérica y el bosque de pino-encino de Centroamérica (Vidal-Rodríguez *et al.*, 2014).

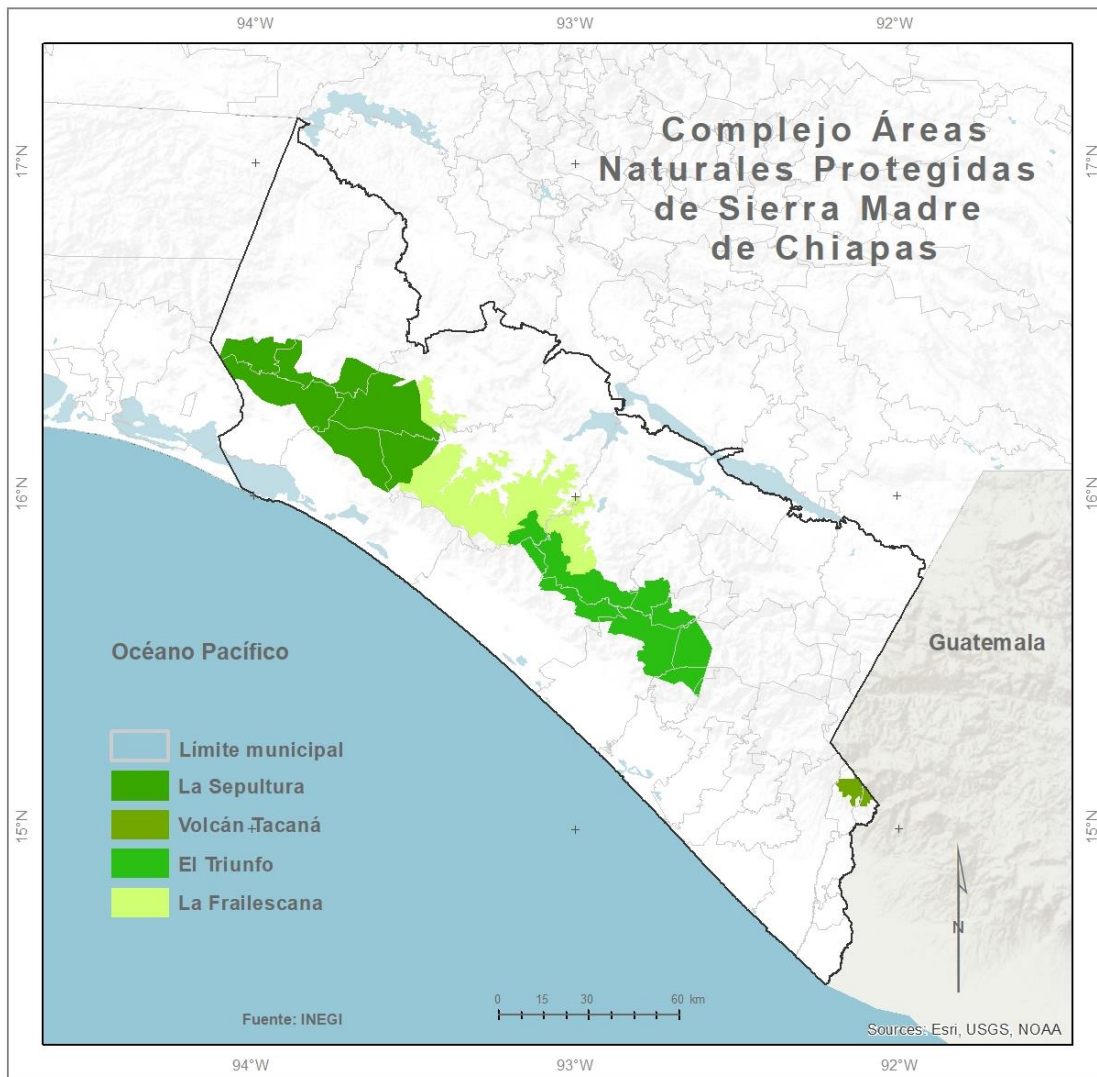
En la región de la Sierra Madre de Chiapas predominan los climas de tipo cálido húmedo y cálido subhúmedo, los cuales se caracterizan por una temperatura promedio entre los 18° y los 22°C con lluvias todo el año y en verano. En la zona de las altas montañas predominan climas de tipo templado subhúmedo con una temperatura promedio entre los 12° y los 18°C con abundantes lluvias en verano (Vidal-Rodríguez *et al*, 2014).

La Sierra Madre de Chiapas está compuesta por 35 subcuencas, cuyas 23 corresponden a la región Costa de Chiapas y 12 a la región Grijalva-Usumacinta. En ellas se generan un total de 48 ríos, entre los que destacan el Lagartero, Zanatenco, Pijijiapan, Coapa, Margaritas, Novillero, San Nicolás, Bonanza, Cintalapa, Vado Ancho, Fortuna, Huixtla, Huehuetán, Coatán, Cahoacán y Suchiate (Vidal-Rodríguez *et al.*, 2014).

La Sierra Madre de Chiapas provee de hábitat a especies en peligro de extinción; entre las de mayor interés de conservación están el quetzal (*Pharomachus mocinno*), el pavón (*Oreophasis derbianus*), la tangara chiapaneca (*Tangara cabanisi*), el tapir (*Tapirus bayrdii*), el jaguar (*Panther onca*) y el puma (*Puma concolor*), así como una gran variedad de anfibios y reptiles. Además, la Sierra Madre de Chiapas representa una de las regiones más importantes a nivel nacional por su biodiversidad y por los servicios ecosistémicos que provee (Pronatura Sur, 2013).

2.2 Descripción socioeconómica

El área de interés lo componen 36 municipios (Mapa 2.1), de los cuales 14 tienen en su territorio las ANPs de interés: Cintalapa, Jiquipilas, Villa Flores, Villa Corzo, La Concordia, Montecristo de Guerrero, Siltepec, La Grandeza, Motozintla, El Porvenir, Unión Juárez, Cacahoatán, Frontera Comalapa y Tapachula (INEGI, 2013).



Mapa 2.1: Localización geográfica del área de estudio (INEGI, 2013).

La población total del área de estudio es 1 691 519 habitantes (Gráfica 2.2), los municipios con mayor población son Tapachula (348 156), Villaflores (104 833), Tonalá (89 178), y Cintalapa con (84 455).

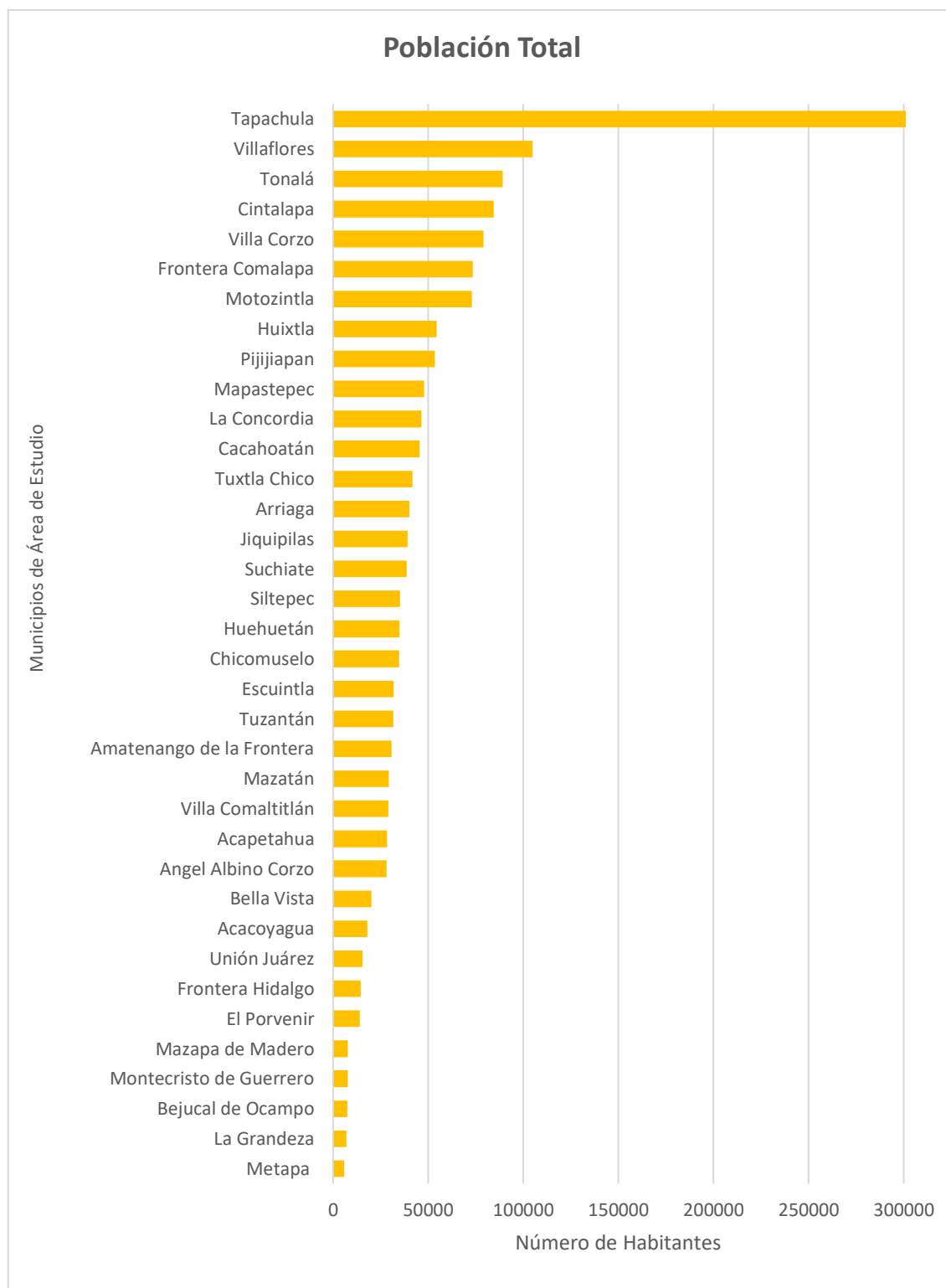


Figura 2.1: Población total de área de estudio (INEGI, 2015).

La distribución de grupos quinquenales de edad (grafica 2.3) en el área de estudio presenta población joven, en donde la pirámide poblacional es de tipo triangular, manteniendo una base ancha debido a la alta natalidad.

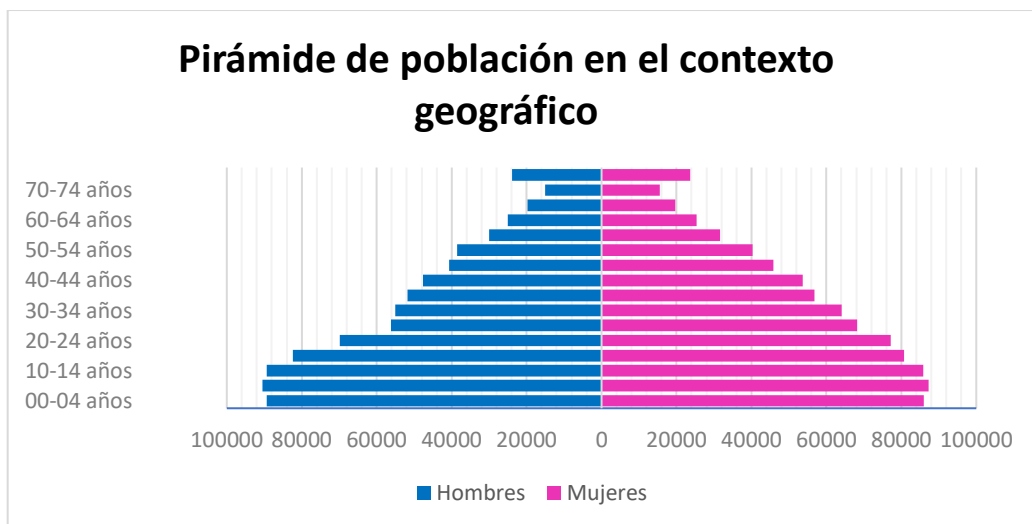


Figura 2.2: Pirámide Poblacional (INEGI, 2015).

En el sector económico, las actividades en los municipios son muy contrastantes, como se observa en la gráfica. En los municipios de El Porvenir, Siltepec, Bejucal de Ocampo y Montecristo de Guerrero predominan las actividades primarias en un casi 75% o más. Por otra parte, las actividades terciarias se desarrollan en los municipios con mayor población provenientes de Tapachula, Huixtla, Arriaga y Cintalapa (INEGI, 2015).

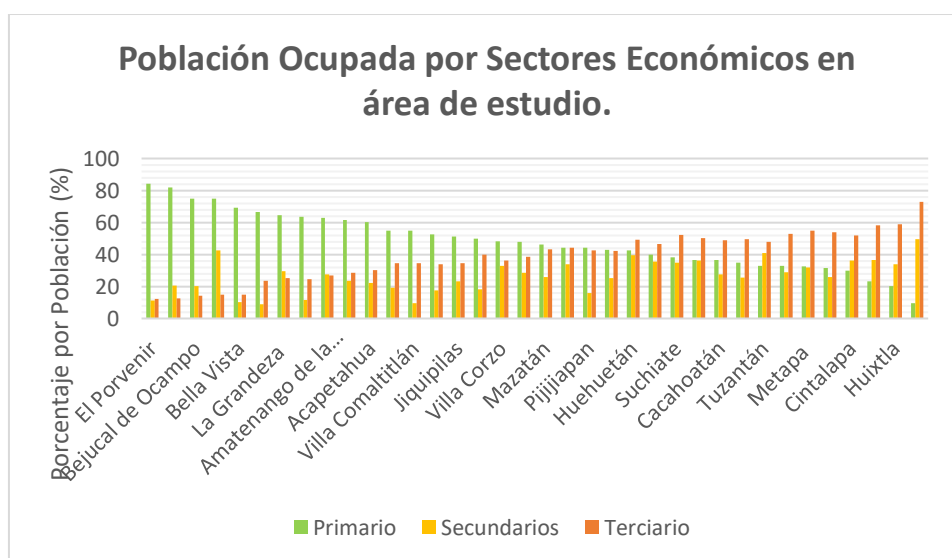


Figura 2.3: Población ocupada por sector económico (INEGI, 2015).

Chiapas es el principal productor de café de México con más del 34% de la producción nacional. La mayor parte del café que se produce en la Sierra cuenta con algún tipo de certificación de sostenibilidad, ya sea café sustentable, orgánico o bajo sombra. Además de la producción de café, en la región se produce maíz, ganado, mango, cacao, plátano, entre otros productos agrícolas (Pronatura, 2013).

La Sierra Madre de Chiapas contiene cuatro ANPs:

- *La Sepultura*, declarada como Reserva de la Biosfera en junio 5 de 1995 localizada en la región suroeste del estado de Chiapas, en la porción noroeste de la Sierra Madre de Chiapas. Comprende parte de los municipios de Arriaga, Jiquipilas, Tonalá, Villacorzo y Villaflores; se caracteriza principalmente por la selva baja caducifolia (Carabias, 1999).
- *El Triunfo*, establecida como Reserva de la Biosfera en marzo 13 de 1990, abarca parte de los municipios de Pijijiapan, Mapastepec, Acacoyagua, Ángel Albino Corzo, La Concordia, Villa Corzo y Siltepec. Presenta vegetación de tipo bosque de niebla, chaparral de niebla, pinares, encinares, bosque de pino-encino y selvas altas, medianas perennifolias (Carabias, 1999).
- *Volcán Tacaná*, decretada como Reserva de la Biosfera en enero de 2003; incluye parte de los municipios de Cacahoatán, Unión Juárez y Tapachula. Cuenta con los tipos de vegetación como bosque mesófilo de montaña, páramo de altura, bosque de abies y áreas de vegetación secundaria (CONANP, 2013).
- *La Frailesca*, decretada en marzo 20 de 1979, es una Zona de Protección Forestal, la cual presenta los tipos de vegetación bosque de niebla, pinares, encinares, bosque de pino-encino, liquidámbar y selvas altas y medianas perennifolias (Melgar, 2016).

ANPs	Extensión (ha)
La Sepultura	167,309.86
El Triunfo	119,177.29
Volcán Tacaná	6,378.00
La Frailesca	177,546.17

Tabla 2.1: Extensión por ANP (CONANP, 2015).

Para tres de las cuatro ÁNPs a evaluar se han desarrollado programas de manejo, instrumentos establecidos en materia de conservación de ecosistemas y biodiversidad a través de la planeación y regulación en un área natural protegida (CONANP, 2016).

Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera La Sepultura

Objetivo General

Mantener la riqueza y diversidad biológica, así como los ecosistemas y procesos ecológicos esenciales que propicien un desarrollo socialmente justo y ecológicamente viable para los habitantes de la región de La Sepultura y su área de influencia (Carabias, 1999).

Objetivos Específicos

- I. Conservar muestras representativas de los ecosistemas de la Sierra Madre de Chiapas como el bosque lluvioso de montaña, bosque de niebla, selva caducifolia y chaparral de niebla (Carabias, 1999).
- II. Contribuir en la protección, manejo y restauración de cuencas hidrológicas que forman parte de la Sierra Madre de Chiapas (Carabias, 1999).
- III. Establecer mecanismos específicos para la conservación de las especies de flora y fauna consideradas endémicas, raras, amenazadas y en peligro de extinción (Carabias, 1999).
- IV. Fomentar la investigación y estudios que permitan incrementar el conocimiento sobre la riqueza biológica de la región, así como impulsar alternativas que permitan el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales (Carabias, 1999).
- V. Desarrollo de oportunidades que permita un crecimiento social y económico en las comunidades locales, a partir de experiencias de producción y apropiación de medios tecnológicos, así también como impulsar el ecoturismo como una actividad que incentive a los habitantes a la conservación y protección de los ecosistemas (Carabias, 1999).

Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Volcán Tacaná

Objetivo General

La conservación de una zona con alta relevancia nacional debido a contener ecosistemas que no han sido alterado y en ellos habitan especies representativas de la biodiversidad nacional, incluyendo algunas de tipo endémicas, amenazadas y en peligro de extinción (CONANP, 2013).

Objetivos Específicos

- I. Debido a ser el único volcán del arco volcánico centroamericano que se encuentra dentro de los límites nacionales, y contener ecosistemas frágiles de gran riqueza florística y faunística (CONANP, 2013).
- II. Preservación del Volcán Tacana al considerarse una isla climatológica que contiene organismos de tipo relictuales, los cuales forman parte de una gran biodiversidad endémica de las tierras altas de Centroamérica (CONANP, 2013).
- III. Preservación de cuencas hidrológicas formadas en el Volcán Tacaná, las cuales brindan bienes y servicios ecosistémicos (CONANP, 2013).
- IV. Protección de la biodiversidad faunística endémica del lugar (CONANP, 2013).

Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera El Triunfo

Objetivo General

Conservar las zonas forestales del bosque de niebla y la selva tropical húmeda (Carabias, 1999)

Objetivos Particulares

- I. Identificación de prioridades a través de acciones a corto, mediano y largo plazo que jueguen en favor de la conservación de la biodiversidad, así como un aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Carabias, 1999).
- II. Contar con una zonificación para el manejo de la Reserva de la Biosfera El Triunfo.
- III. Preservación de los ecosistemas de la Sierra Madre de Chiapas, principalmente el bosque de niebla, el bosque ripario y la selva tropical (Carabias, 1999).
- IV. Protección de las cuencas hidrográficas con el fin de conservar los servicios ecosistémicos provistos, así también evitar la pérdida de flora y fauna (Carabias, 1999).
- V. Desarrollar de oportunidades en favor de la investigación para el incremento de conocimientos físico-biológicos, económicos y sociales para la elaboración de alternativas sustentables de los recursos naturales (Carabias, 1999).

Con estos objetivos anteriores y para obtener un buen manejo de las ANPs, se propone la división de zonas núcleos y zonas de amortiguamiento de la siguiente manera:

Zonas Núcleos. Este tipo de áreas se deben encontrar fuera del alcance del hombre, en donde la flora y fauna se encuentren en interacción en estado natural, por lo que presentan un estado de conservación de bueno a excelente (Carabias, 1999). La extensión de las zonas núcleos es de la siguiente manera (Tabla 11):

La Sepultura	Área(ha)	El Triunfo	Área(ha)	Volcán Tacaná	Área(ha)
Cuenca del Arenal	1 811	La Angostura	6 776	Preservación Tacaná	4 481
La Palmita	1 937	El Venado	4 056		
San Cristóbal	602	Cuxtepec	1 192		
Tres Picos	7 267	El Triunfo	11 594		
La Bola	2 140	Ovando	2 143		

Tabla 2.2: Extensión de zonas núcleo de acuerdo con cada ANP (CONANP, 2013).

Zonas de Amortiguamiento. Se define como la superficie delimitada, la cual protege a la, o las zonas núcleo del impacto exterior. En ella sólo podrán realizarse actividades productivas emprendidas por las comunidades que ahí habiten al momento de la expedición de la declaratoria y empate con los objetivos del programa (Carabias, 1999).

De acuerdo con Carabias (1999) y CONANP (2013), las zonas de amortiguamiento para las ANPs con categoría de Reserva de la Biosfera se clasifican de la siguiente manera (Tabla 12).

Reserva de la Biosfera La Sepultura (153 155 ha.)	
Zonas Naturales Sobresalientes	Ecosistemas que por su estructura presentan características ecológicas y biológicas propias, así como una gran biodiversidad en buen estado. Dentro de ellos, destacan los bosques mesófilos de montaña, bosques de pino-encino-liquidámbar, selvas bajas caducifolias, y selvas subperennifolias, los cuales son los que contienen una mayor diversidad de especies. Su extensión máxima es de un kilómetro a partir de las zonas núcleo; esto permite incluir sitios estratégicos de especies vitales del ecosistema.
Zonas de Aprovechamiento Condicionado de los Recursos Naturales	Áreas que están sujetas al aprovechamiento forestal maderable y no maderable. En ellas, se hace un uso moderado de los recursos para permitir su rápida regeneración, y a su vez, generar el menor impacto posible en la fauna. Predominan los bosques de pino, pino-encino, bosque mesófilo de montaña y selva baja.

Zonas de Esparcimiento General al Aire Libre	Áreas que se encuentran inmersas dentro de las zonas núcleo, zonas naturales sobresalientes, zonas de aprovechamiento condicionado de los recursos naturales, zonas de valor histórico cultural o zonas de restauración. Con ello permiten la recreación al aire libre en forma constructiva y saludable para residentes locales y visitantes a partir del ecoturismo con objetivos de educación ecológica.
Zonas de Valor Histórico Cultural	Áreas o sitios arqueológicos que evidencian presencia humana de manera histórica, los cuales indican las actividades desarrolladas por las civilizaciones pasadas.
Zonas de Uso Agropecuario y Forestal en Recuperación	Áreas que son usualmente se utilizaban el desarrollo de actividades productivas como es la ganadería extensiva, agricultura de temporal y extracción forestal, y ahora es necesario que sean sometidas a procesos de recuperación a través de diversas prácticas de conservación de suelo y agua.
Zonas de Uso Agropecuario y Forestal Controlado	Áreas que se encuentran sujetas al aprovechamiento forestal maderable y no maderable, agricultura y ganadería, preservando el estado del ecosistema a través del uso moderado de estos recursos. Predominan los ecosistemas de bosque de pino, pino-encino y selvas bajas.
Zonas de Uso Agropecuario Intensivo	Áreas que cumplen características topográficas, edafológicas y climatológicas, que se vuelven idóneas para las actividades agrícolas o ganaderas de las comunidades de la Reserva y a su vez, actividades que permitan la conservación de las mismas zonas.
Zonas urbanas, suburbana y caminos	Áreas específicas en donde se encuentran asentadas los centros de población ejidal y caminos primarios establecidos.
Reserva de la Biosfera El Triunfo (93 458 ha)	
Zona de Conservación	Área compuesta de bosque de pino-encino, selvas y bosque mesófilo, los cuales son aprovechados de manera sustentable y selectiva. Se muestra un desarrollo de actividades de caficultura orgánica y plantación de palma, ecoturismo y sistemas de producción agroforestales. La conservación de esta zona es esencial debido a la biodiversidad y ecosistemas, por ello es necesario regular de manera estricta el uso de los recursos naturales.
Zona de Aprovechamiento	Áreas que han sufrido modificaciones, alteraciones o desapariciones del ecosistema original por las actividades de los sistemas agrosilvopastoriles, plantaciones frutales y ganadería intensiva.
Zona de Restauración	Área destinada a la recuperación de sus condiciones ecológicas originales de vegetación. En ella, se llevan actividades de los sistemas agrosilvopastoriles para favorecer la reforestación a través de prácticas de conservación de suelos.

Reserva de la Biosfera Volcán Tacaná (1895 ha)	
Zona de Aprovechamiento sustentable de los Recursos Naturales	En estas áreas predomina el bosque mesófilo de montaña y la selva mediana subperennifolia. Permite las actividades de aprovechamiento forestal y ecoturismo, con ello incentivar a la sociedad que radica en la zona de llevar a cabo actividades sustentables con la reserva.
Zonas de Aprovechamiento Sustentable de los Ecosistemas	Actualmente, la superficie que corresponde a esta zona predomina los pastizales naturales e inducidos, con relictos de selva mediana subcaducifolia. Así también se llevan actividades de tipo agrícola y pecuarias orientadas a través de programas de sustentabilidad de recursos naturales.
Zona de Uso Público	Ubicada en la cima del Volcán Tacaná, se practican únicamente las actividades turísticas de bajo impacto, como es el campismo y senderismo.
Zona de Asentamiento Humanos	Esta zona ha sufrido modificaciones sustanciales en los ecosistemas originales de la reserva debido a los mismos asentamientos humanos. En ella se permite el turismo y aprovechamiento de recursos naturales de autoconsumo.

Tabla 2.3: Uso de Zonas de Amortiguamiento (CONANP, 2013).

Área Natural Protegida La Frailescana

Denominada por CONANP como Área de Protección de Recursos Naturales en noviembre de 2007, cuenta con 177 546.17 hectáreas. Localizada en la Sierra Madre de Chiapas, entre la Reserva de la Biosfera La Sepultura y la Reserva de la Biosfera El Triunfo, funciona como un corredor biológico entre estas dos ANPs (Miceli, C. y Reyes, F., 2014). Con esta función, esta ANP contribuye al almacenamiento de carbono atmosférico, a la mitigación de los efectos de cambio climático, a la captura y saneamiento de aguas superficiales y subterráneas, a la producción de recursos forestales maderables y no maderables, entre otros (Melgar, 2016). A pesar de que el ANP carece de un programa de manejo, se encuentra protegida por el artículo 53 de la LGEEPA, la cual sólo permite las actividades relacionadas a la preservación, protección y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como la investigación, recreación, turismo y educación ecológica (Melgar, 2016).

3. Metodología

El capítulo siguiente orienta la investigación realizada a través de una serie de bases teóricas que sustentan y respaldan la metodología empleada (Figura 3.1), la cual la integran dos apartados: calibración y modelación.

El modelo utilizado se realizó a través de Land Change Modeler (LCM), incluido como herramienta en el software Terrset 18.21, el cual permite realizar análisis de cambios de uso de suelo mediante variables explicativas que justifiquen las transiciones de cobertura entre dos fechas, así como la generación de escenarios prospectivos mediante redes neuronales artificiales, derivando en productos cartográficos que puedan ser analizados mediante técnicas estadísticas y puedan contribuir a la generación de políticas públicas ambientales (Anexo 1).

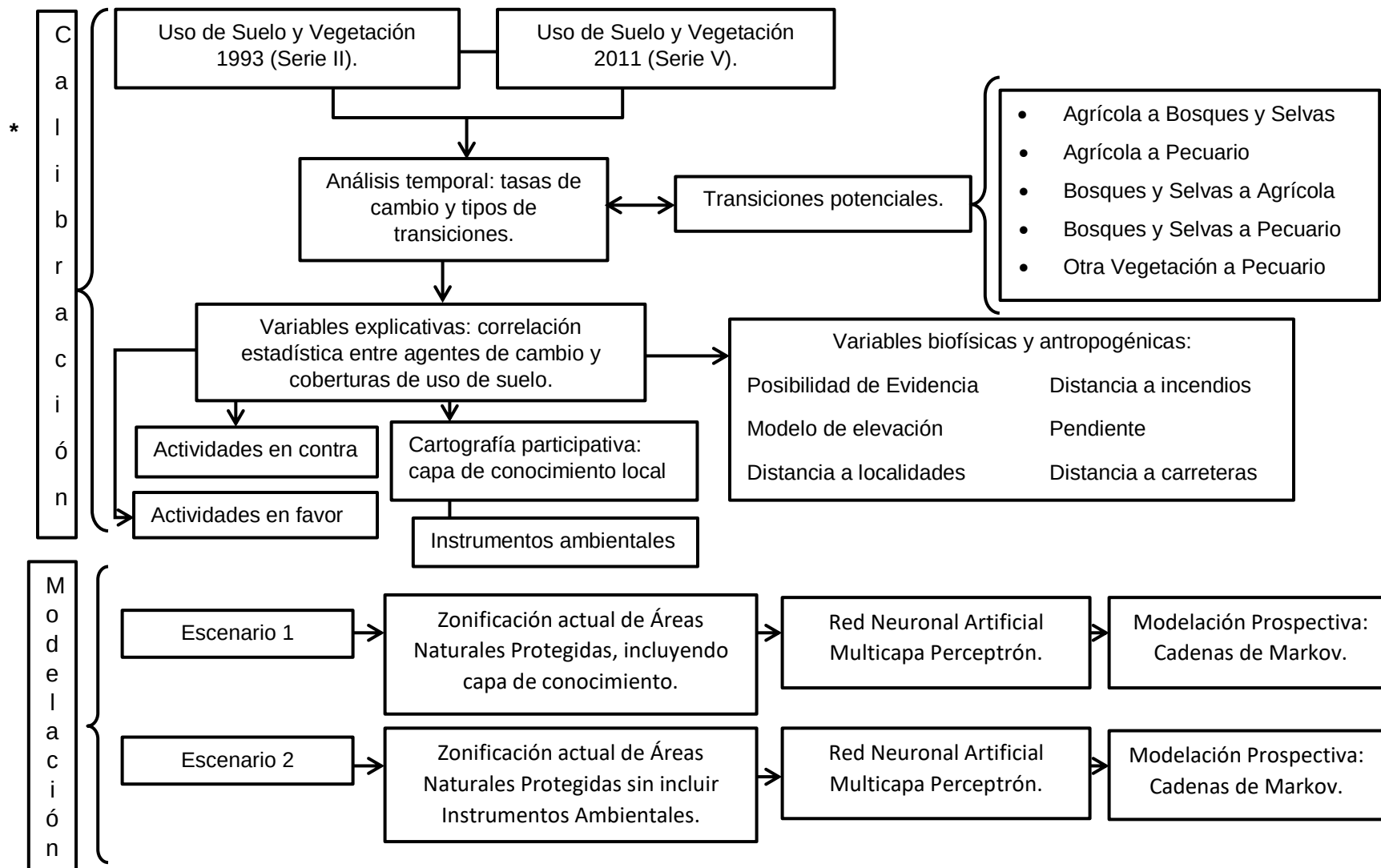


Figura 3.1: Diagrama de flujo del marco metodológico (Elaboración propia).

3.1 Series de Uso de Suelo y Vegetación

3.1.1 Análisis histórico de cambio de uso de suelo y vegetación

La cobertura de la tierra y su uso representan los elementos integrantes de los recursos básicos y afectan los sistemas globales. Dichos cambios ocurren en un modo localizado que en su conjunto llegan a sumar un total significativo y se reflejan en buena medida en la cobertura vegetal, por lo cual, se plantea la necesidad del monitoreo ambiental (INEGI, 2014).

En México, a partir de 1976, se ha generado cartografía sobre la cubierta vegetal y el uso del suelo, la cual tiene como objetivos:

- Indicar la distribución de los tipos de vegetación natural e inducida en México.
- Identificar características relevantes de la vegetación arbórea de nuestro país.
- Cuantificar mediante estadísticos el estado de la cobertura vegetal y uso de suelo.
- Conocer los tipos de afectaciones de las comunidades vegetales y su localización.

De acuerdo con INEGI (2014), se han elaborado cinco recubrimientos a nivel nacional:

- Serie I: 1976.
- Serie II: 1993.
- Serie III: 2002.
- Serie IV: 2007.
- Serie V: 2011.

Cada serie se define por grandes grupos de información de Uso de Suelo y Vegetación. De acuerdo con INEGI (2014), se agrupa de la siguiente manera:

- *Información ecológica, florística y fisonómica.* Considera las grandes agrupaciones de comunidades vegetales, definidas con base en sus afinidades ecológicas y florísticas.
- *Información agrícola, pecuaria y forestal.* Considera los usos agrícolas y pecuario, así como el uso forestal con plantaciones comerciales.

- *Información complementaria.* Incluye información que no forman parte de los dos grupos anteriores, como son los cuerpos de agua, asentamientos humanos, zonas urbanas, entre otros.

3.1.2 Cambios de uso de suelo

Para el análisis de cambio de uso de suelo es necesario tener dos imágenes clasificadas por uso de suelo y vegetación que cuenten con las mismas características de tamaño de píxel, número de columnas y filas.

En el presente trabajo se utilizaron las series de uso de suelo y vegetación de INEGI II (1993) y V (2011), las cuales se reclasificaron en siete clases de la siguiente manera:

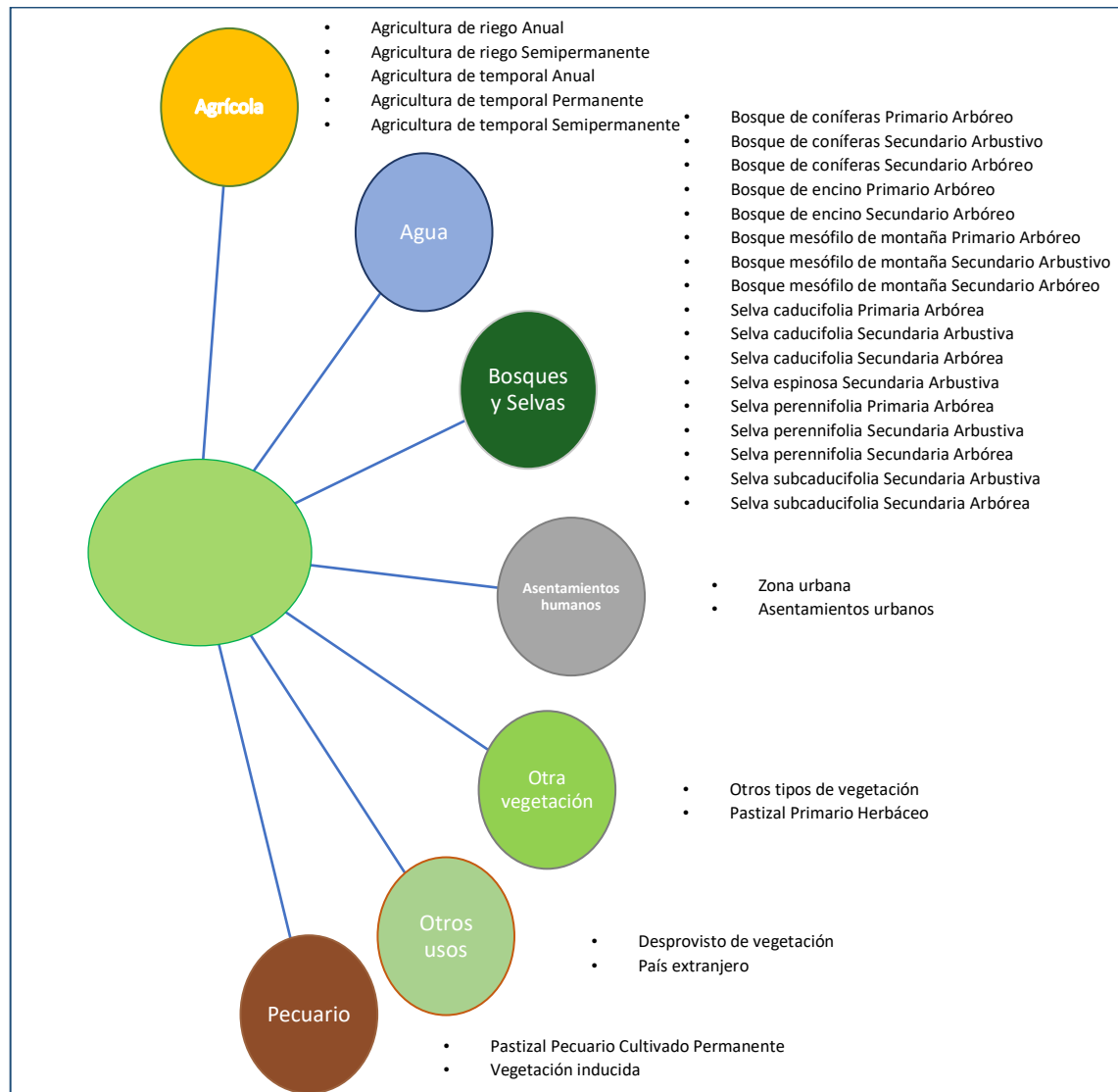


Figura 3.2: Clasificación de Categorías de Uso de Suelo y Vegetación (Ordoñez y Medina, 2017).

Lo anterior permite identificar las transiciones preponderantes de cada cobertura, así como las ganancias, pérdidas, cambios y contribuciones. Estas transiciones son representadas a través de un mapa de cambios, el cual puede ser especificado por el tamaño de la transición (hectáreas, celdas, kilómetros cuadrados, acres, porcentaje de área, entre otros); la persistencia de las coberturas de uso de suelo; pérdidas y ganancias de una categoría en particular.

3.2 Estudio de variables explicativas

A partir de la identificación de las transiciones de cambio de uso de suelo a estudiar, se generaron grupos de submodelos, cuyos procesos pueden ser identificados con un grupo de variables explicativas o determinantes (agentes impulsores de cambio). Debido a ello, se calculó la relación entre los submodelos y las variables a partir de máquinas de aprendizaje, para, finalmente, evaluar éstas relaciones a través del coeficiente V de Cramer para identificar la sensibilidad o contribución relativa de las variables explicativas a los submodelos.

Para la evaluación de submodelos se necesitan la selección de una serie de *drivers*, o también llamados agentes de cambio, puesto que son utilizados para modelar los procesos de cambios históricos. En la siguiente tabla se describen las variables generalmente utilizadas en la literatura (tabla 3.1).

Construcción de variables explicativas		Ejemplos de Antecedentes.
Posibilidad de evidencia.	A través de un mapa booleano de las áreas de transición y el año base, se crea la posibilidad de evidencia a partir de la frecuencia relativa de los píxeles pertenecientes a las diferentes categorías dentro de las áreas de cambio (Eastman, 2012), generando así un mapa de las áreas susceptibles a cambios de uso de suelo.	Sin estudios anteriores reportados.
Modelo de elevación (MDE)	Es la representación de valores de elevación continuos sobre una superficie, representados mediante una matriz regular de valores z (Kennedy, H., 2000).	Utilizado en “Modelación de los cambios de cobertura/uso del suelo en una región tropical de México” (Jean-Francois y Flamenco, 2011); Modelos geomáticos aplicados a la simulación de cambios de usos de suelo. Evaluación de potencial de cambio (Camacho <i>et al.</i> , 2014).

Pendiente	A partir de un modelo de elevación, se calcula la tasa máxima de cambio del valor de una celda a las vecinas inmediatas. Este método calculará la inclinación en cada celda en una superficie. Esta herramienta también se usa para datos de tipo continuo como la población, o en fenómenos como derrames de petróleo, calor de incendios forestales (Burrough, P, y McDonell, R., 1998). A partir del Modelo de Elevación, se deriva esta capa obtenida a través de la herramienta “<i>Slope</i>” de ArcGIS 10.3, calculando así la pendiente con la unidad de medida en grados.	Utilizado en “Modelación de los cambios de cobertura/uso del suelo en una región tropical de México” (Jean-Francois y Flamenco, 2011); Modelos geomáticos aplicados a la simulación de cambios de usos de suelo. Evaluación de potencial de cambio (Camacho <i>et al.</i>, 2014)
Distancia a Carreteras	La distancia euclidiana, de acuerdo con Kennedy (2000), es la distancia en línea recta entre dos puntos, la cual es calculada mediante el uso del teorema de Pitágoras. A partir de datos vectoriales del sistema de carreteras del área de estudio, se calcula la distancia euclidiana. Se obtuvieron las carreteras principales de la Sierra Madre de Chiapas a través del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), obtenidos en formato vectorial y a partir de ello, se generó un archivo en formato ráster, y con este se realizó un procesamiento para obtener las distancias euclidianas de las principales vías del área de estudio.	Utilizado en “Modelación de los cambios de cobertura/uso del suelo en una región tropical de México” (Jean-Francois y Flamenco, 2011); Modelos geomáticos aplicados a la simulación de cambios de usos de suelo. Evaluación de potencial de cambio (Camacho <i>et al.</i>, 2014).
Distancia a Localidades	A partir del Censo de Población y Vivienda 2010, se adquirieron en formato vectorial, los puntos de las localidades urbanas que, de acuerdo con INEGI (2010), tuvieran 2 500 habitantes o más. Tomando estas localidades de referencia como polos de desarrollo para las áreas circundantes a ellas. Con ello, se generó un ráster de la distancia euclidiana a las localidades urbanas.	Utilizado en “Modelación de los cambios de cobertura/uso del suelo en una región tropical de México” (Jean-Francois y Flamenco, 2011); Modelos geomáticos aplicados a la simulación de cambios de usos de suelo. Evaluación de potencial de cambio (Camacho <i>et al.</i>, 2014).

Tabla 3.1: Descripción de agentes de cambio (Elaboración propia).

Aunado a las variables citadas en la literatura, principalmente de corte físico y poblacional, en el presente trabajo se incorpora una capa de conocimiento generada a través de un taller de cartografía participativa (PGIS), así como una serie de instrumentos de política ambiental e incendios.

3.2.1 Cartografía Participativa

Además de conocer el entorno geográfico, el humano necesita comprender su entorno social y sus problemas para poder actuar y generar cambios que lleven a mejorar sus relaciones y su ambiente (Braceras, 2012). Analizar el territorio a partir de redes sociales implica una importante participación de los individuos y, a su vez, promueve la intervención de las comunidades en la formulación de políticas públicas; también motiva así a ejercer sus derechos, y por ende, genera una herramienta articuladora entre el lenguaje de la comunidad que vive y experimenta el espacio de cierta manera; y el lenguaje científico, generando conocimiento y derivando en un SIG Participativo (Fernández *et al*, 2007).

Conocido de distintas maneras, cartografía comunitaria, cartografía social, SIG Participativo, entre otros, la diversidad entre los conceptos refleja el tipo de método utilizado (Braceras, 2012). Se concibe esta herramienta como un mecanismo de desarrollo y distribución de poder y la necesidad de tener una mente abierta a conocimientos del espacio con perspectivas más locales (Aitken y Michel, 1995).

Las herramientas analíticas utilizadas en la cartografía participativa son principalmente la participación, comunicación y herramientas de toma de decisiones para una planeación colaborativa (McCall, 2003). Sus aplicaciones van desde el ordenamiento territorial, reivindicar los derechos indígenas, gestión local para la prevención de riesgos, gestión y resolución de conflictos siconaturales, gestión y manejo de los Recursos Naturales, entre otros (Habegger *et al*, 2006).

La cartografía participativa se destaca por ser utilizada por Organizaciones No Gubernamentales (ONGs) en áreas rurales de países en desarrollo para construir capital social usando muestreo deliberado y cartografía impresa, donde la calidad de la información espacial es de segunda importancia (Brown, 2014). La trascendencia de

hacer cartografía participativa está respaldada por el concepto de sabiduría colectiva, en el que la inteligencia colectiva puede aprovecharse para encontrar soluciones superiores a problemas sociales que supongan un reto (Surowiecki, 2005).

En México, se tiene la necesidad del ordenamiento territorial comunitario, basado en el conocimiento local de los ejidatarios para el análisis del territorio y los distintos usos de la tierra, en el que plantea distintas soluciones con un contexto espacial para un mejor manejo de los recursos naturales (Ojeda *et al*, 2001).

En el estado de Chiapas se han identificado una reducción y degradación de la biodiversidad asociada principalmente al establecimiento de potreros, la práctica de agricultura tradicional y el aprovechamiento ilegal de especies forestales (González *et al*, 2009).

Con base en lo anteriormente explicado, esta investigación está desarrollada de acuerdo con la valoración económica de los servicios ecosistémicos en Sierra Madre de Chiapas, realizando un taller de Cartografía Participativa con el objetivo de incorporar información local sobre los factores que intervienen e influyen en los ecosistemas y sus servicios, así como la generación de escenarios de cambios de uso de suelo con el fin de desarrollar herramientas de ayuda a la gestión sostenible de los ecosistemas en el complejo de Áreas Naturales Protegidas de Sierra Madre de Chiapas.

Dicho taller de Cartografía Participativa derivó en la generación de una capa de conocimiento, la cual se clasificó mediante actividades en favor, actividades en contra y actividades sin instrumentos ambientales.

3.2.2 Incendios

Después del cambio de uso de suelo y la tala ilegal, los incendios forestales representan la tercera causa más importante de pérdida forestal en México (Cedeño-Sánchez, 2001) Los daños originados por incendios forestales se reflejan en la pérdida de capital natural y vidas humanas (Fried *et al.*, 1993).

De acuerdo con una base de datos de Incendios Forestales de la Región de Sierra Madre de Chiapas, elaborada y proporcionada por CONAFOR, se tomó la temporalidad de 2010-2015, en la que se realizó una depuración y selección de aquellos incendios que cumplieran con la característica de presentarse en algún ecosistema natural, así como contabilizar una duración mayor a cuatro días o más, esto bajo el supuesto de una mayor extensión del incendio y su ocurrencia con incendios no asociados a quemas controladas.

Con dichos datos, se realizó una georreferenciación, obteniendo así datos vectoriales del área de estudio; a partir de ellos, se obtuvo las distancias euclidianas a dichas localizaciones de incendios.

3.3. Máquinas de aprendizaje

Las máquinas de aprendizaje (MLAs, por sus siglas en inglés) se volvieron una brecha en el campo de las ciencias de la computación. La teoría del aprendizaje computacional, la cual estudia las propiedades del aprendizaje de información empírica hacia una perspectiva estadística, ahora es un campo de estudio muy importante puesto que está inspirado a partir de modelos biológicos neuronales y el cerebro como un sistema neuronal como habilidades de aprendizaje, las cuales son enlazados a la una sólida teoría matemática (Kanevski *et al.*, 2009).

Considerada como la ciencia de los procesos de aprendizaje de modelado informático, la máquina de aprendizaje permite que una computadora adquiera conocimiento a partir de datos o teorías existentes utilizando ciertas estrategias e inferencias tales como la inducción o deducción. A lo largo de los años, la investigación en las máquinas de aprendizaje se ha llevado a cabo con distintos grados de intensidad utilizando diferentes enfoques y poniendo énfasis en diferentes aspectos y objetivos (Carbonell *et al.*, 1983).

Las máquinas de aprendizajes algorítmicas son una herramienta muy útil en el análisis, modelación y visualización de información espacial, así como el desarrollo para la aplicación en distintos campos, como puede ser en el estudio de en las geociencias y la percepción remota. Éstas utilizan una aproximación automática

inductiva para el reconocimiento de patrones en los datos, establecen estos mismos patrones hacia datos del mismo tipo para poder generar predicciones para una clasificación de datos y problemas de regresión (Cracknell, 2014).

Los tipos de MLAs que comúnmente se utilizan son las Máquinas de Vectores de Soporte, Árboles de Decisión, Mapa Autoorganizado, Bosques Aleatorios, Algoritmos Genéticos, Curvas de Regresión Adaptativa Multivariante, y Redes Neuronales Artificiales (Larry *et al.*, 2016).

3.3.1 Redes Neuronales Artificiales

Las Redes Neuronales Artificiales (RNAs) son un conjunto de elementos simples que se interconectan en paralelo en forma jerárquica e interactúan como sistemas neuronales psicológicos, las cuales se utilizan para representar sistemas de mayor complejidad. La característica principal de las RNAs es la capacidad de resolver este tipo de problemas mediante una búsqueda y reconocimiento de patrones, es decir, relacionar comportamientos repetitivos en una temporalidad mediante modelos de regresión logística en los cuales establecen relaciones funcionales entre las variables que mantienen un poder explicativo y una relación que pueden localizar los cambios.

Existen diferentes tipos de RNAs que pueden ser aplicadas en distintos problemas y casos como el *Perceptrón Multicapa* (MLP), *Redes de Función de Base Radial* (RBF), *Redes Neuronales de Regresión General* (GRNN), *Redes Neuronales Probabilísticas* (PNN), *Redes de Densidad de Mezcla* (MDN) *Mapas Auto organizados* (SOM). *Redes Neuronales Kohonen* (KNN) (Kanevski, 2009).

Actualmente, las RNAs, esencialmente el método de *perceptrón multicapas*, han encontrado aplicación en un amplio rango de disciplinas pues resultan apropiadas para la resolución de problemas de reconocimiento de patrones a través de cálculos computacionales (Noriega, 2005). Éstas consisten en tres tipos de capa: *entrada*, *oculta* y *salida*. A través de este funcionamiento, las RNAs tienen la capacidad de identificar relaciones de naturaleza no lineal (Cataldi, 2006):

- *Capa de entrada*. Recibe la información directamente proveniente de las fuentes externas de la red.

- Capa oculta. Se considera una serie de capas internas en la red neuronal, las cuales no tienen interacción con la capa de entrada y se encuentran interconectadas de distintas maneras, lo cual determina las distintas topologías (Cataldi, 2006).
- Capa de salida. Únicamente se encarga de transferir la información de la red al exterior.

La topología de las RNAs es la manera en organizar las neuronas en la red, de tal manera que se forman capas o conjuntos de neuronas. Los parámetros fundamentales en las RNA son el número de capas, el número de neuronas por capa, el grado de conectividad y el tipo de conexiones entre neuronas (Cataldi, 2006).

Los algoritmos de redes neuronales con perceptrón multicapa se han convertido en métodos que, en determinadas ocasiones, aventajan a las funciones estadísticas clásicas con la posibilidad además de proponer soluciones no lineales (Bishop, 1994).

A través de la adquisición de conocimientos o *Machine Learning*, el método de perceptrón permite la asociación de patrones de entrada y las clases de salida. Esto se logra mediante las capas ocultas con conexión hacia adelante y sin conexiones recurrentes. Para que la red neuronal tenga la capacidad de la experiencia se agregó un método de aprendizaje no supervisado basado en la regla *delta generalizada*, basado en el *backpropagation*, Esto permite que la red se divida en dos partes: una de entrenamiento y otra de prueba (Rumelhart, 1986). La etapa de entrenamiento consiste en el aprendizaje del conjunto predefinido de entrada-salida a través de un ciclo de *propagación-adaptación* de dos fases:

- a) En la primera fase, se aplican los atributos de entrada a la capa de entrada de datos a la red y los valores generados se propagan desde esta capa hacia las superiores hasta generar una salida, en la capa de salida de la red. Para realizar el entrenamiento, se compara el resultado obtenido en cada neurona de salida con el valor deseado para cada neurona en particular y obteniéndose un error para cada unidad de salida (Cataldi, 2006).

- b) Para la segunda fase, los errores de cada unidad de salida se transmiten hacia atrás, pasando por las neuronas de las capas intermedias que contribuyan directamente a la salida, recibiendo el porcentaje de error aproximado a la participación de las neuronas intermedias en la salida original. El proceso se repetirá cuantas veces sea necesario debido al efecto de *retro-propagación*, el cual propagará el error a cada neurona hasta llegar a la capa de entrada con lo cual calculará el error que aporta cada uno ellas, buscando el mínimo error (Cataldi, 2006). En el siguiente esquema se ilustra el modelo:

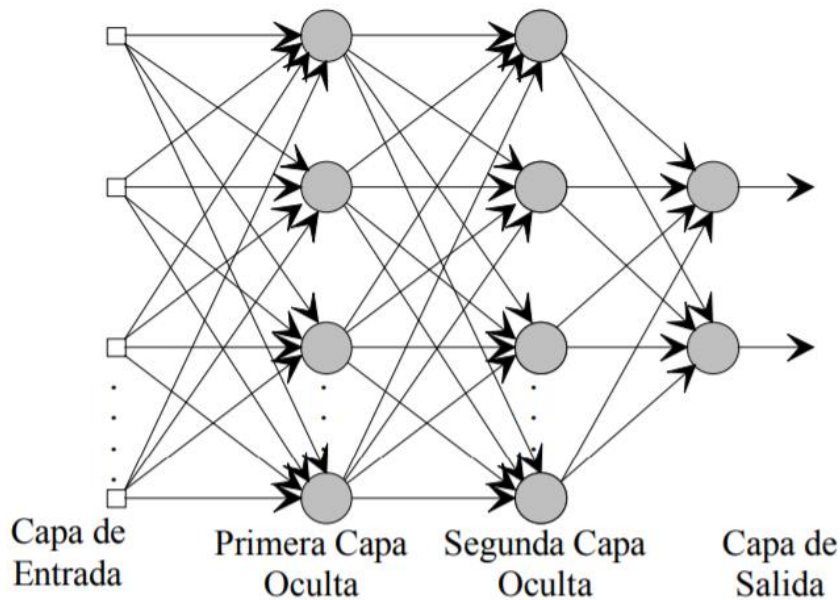


Figura 3.3: Esquema de Red Neuronal Artificial (Serrano, 2009).

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y de métodos implementados en estos, a la par en el desarrollo de modelos con cambios de usos de suelo (en este caso basados en redes neuronales artificiales (RNAs)), permiten analizar los cambios de usos de suelo que se han producido en un área determinada en el espacio y en el tiempo (Díaz, 2014).

3.4. V de Cramer

Para la evaluación de las relaciones encontradas en la red neuronal se utilizó el estadístico de la *V de Cramer*. Este estadístico ayuda a conocer si dos o más series de datos están relacionadas, así como el grado de la relación que mantienen. Cuando en un conjunto de datos su grado de relación es poco coincidente, es necesario utilizar un coeficiente de correlación y pruebas estadísticas no paramétricas (Siegel, 1972).

De acuerdo con Siegel (1972), el coeficiente V de Cramer es una medida de estadística no paramétrica, la cual se utiliza para calcular el grado de asociación o relación entre dos series de atributos o variables, se define como:

$$C = \sqrt{\frac{x^2}{N(L-1)}}$$

tal que:

$$X^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \frac{(n_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

donde L es el mínimo de número de filas o columnas en la tabla de contingencia, para calcular C , primero se calcula X^2 y después se sustituye en la formula. Este tipo de correlación, tienen un rango entre 1 y 0 (Tabla 10).

Índice	Características
1.00	Existe completa relación entre variables
0.75	Existe relación fuerte entre las variables
0.50	Relación moderada entre las variables
0.25	Mínima y muy pobre relación entre las variables
0.00	No existe ninguna relación entre las variables

Tabla 3.2: Rango de relación entre las variables de acuerdo con Siegel (1972).

Las variables evaluadas a través de V de Cramer en *Land Change Modeler* (LCM) deberán obtener un 0.15 para ser útiles, mientras que se consideran valores de 0.4 como óptimos (Eastman, 2012).

3.5. Modelación prospectiva

3.5.1. Matriz de Markov

También conocida como cadenas de Markov, la Matriz fue introducida en 1906 por Andrei Andreyevich Markov. Es un proceso estocástico, el cual simula la predicción del estado de un sistema en un tiempo determinado a partir de dos mediciones temporales; es decir, determina la probabilidad que un evento ocurra de acuerdo al interior (Buzai, 2007). Sin embargo, la modelación no tiene en cuenta variables explicativas, lo hace exclusivamente en los cambios dinámicos internos de los tiempos ($t_1 - t_2$), dentro de un vecindario, correspondiendo la capa de USV 1993 (t_1) y en 2011 (t_2) (del Valle, 2017).

La construcción de la matriz de probabilidad (P) es el proceso central de transición, las probabilidades de cambio de una categoría a otra han sido medidas a lo largo de un período y son de utilidad para extrapolar el cálculo hacia un período similar en el futuro (Buzai, 2007).

El estado de cada sistema se define como

$$X_t = [X_1, X_2, X_3 \dots X_n]$$

donde X_i representa cada categoría para el tiempo t . El estado del sistema para el tiempo $t + 1$ se multiplica el vector por la matriz de probabilidad como

$$X_{t+1} = X_t P$$

de manera sucesiva hasta el tiempo n (t_n),

$$X_{t+2} = X_{t+1} P = X_t P^2$$

$$X_{t+3} = X_{t+2} P = X_{t+1} P^2 = X_t P^3$$

por lo tanto, se define

$$X_{t+k} = X_t P^k.$$

Esta predicción finaliza a través de ubicar espacialmente los píxeles con mayor probabilidad de cambio utilizando las redes neuronales multicapa para que puedan ser modificados de categoría (Buzai, 2001).

LCM permite la incorporación de restricciones e incentivos, permitiendo evaluar los impactos existentes y circunscribiendo las ANPs, de manera que redirecciona los cambios en dichas áreas. Las restricciones e incentivos son manejados como uno mismo en LCM; se genera una capa que va de 0 a 1, en donde los valores nulos no tienen impactos, mientras que los valores mayores a 0 pero menores a 1 son desincentivos, y los mayores a 1 son incentivos al cambio (Eastman, 2012).

La manera en que las restricciones e incentivos funcionan son a través de las transiciones potenciales, asociándose cada una de ellas a la capa de incentivos y restricciones y multiplicándose, con ello se logra modificar los cambios (Eastman, 2012).

4. Análisis y Discusión de Resultados

En este capítulo se aborda los resultados obtenidos y el análisis a partir de la ejecución del modelo, el cual contribuye de manera fundamental a la investigación. De manera general, se encontró una pérdida en los bosques y selvas debido al crecimiento de los sistemas agropecuarios, así mismo se establecieron agentes de cambio correlacionados a los cambios en las categorías de uso de suelo, con esto se construyeron una serie de escenarios prospectivos en donde se evalúa la influencia de los instrumentos ambientales para la conservación de la cobertura forestal. Hallando que dichos instrumentos atenúan los cambios de cobertura en las ÁNPs de Sierra Madre de Chiapas.

4.1 Cambio de uso de suelo y vegetación 1993-2011

A partir del análisis de cambios, se obtuvieron las pérdidas y ganancias de uso de suelo y vegetación para el área de estudio en el periodo de 1993 a 2011 (Tabla 4.1), en donde la pérdida de bosques y selvas representa un 4.18%, aunado a una pérdida de 95.99% para otros tipos de vegetación (p. ej. manglar, tular, vegetación de dunas costeras, entre otras.). En contraste, el uso de suelo pecuario y agrícola aumentó 128.43% y 7.15% respectivamente desde el año de 1993.

Uso Suelo (ha) / Año	1993	2011
Agricultura	25 358	23 545
Agua	34	27
Bosques y Selvas	357 947	340 838
Asentamientos Humanos	0	35
Otra Vegetación	6 490	260
Otros Usos	136	14
Pecuario	19 658	44 904

Tabla 4.1. Cambios de uso de suelo por has, en el periodo de 1993 a 2011 (Elaboración propia).

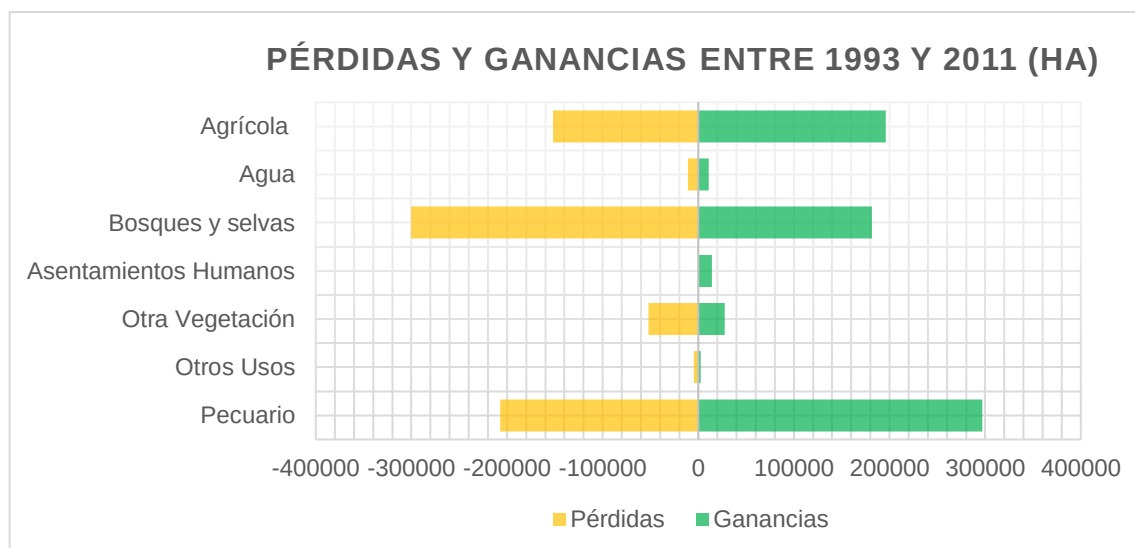


Figura 4.1: Tasa de cambio de uso de suelo 1992-2011 (Elaboración propia).

Una vez obtenidas las tasas de cambio en las coberturas de tipo de suelo, se generó un mapa de dichos cambios en función del área (Mapa 4.1). De acuerdo con lo anterior y considerando sólo aquellos que representan el 10% del área total y mayores a 30 mil hectáreas, se adquirieron los cambios más sobresalientes (tabla 4.2):

Cambios	Área (ha).
Otra Vegetación a Pecuario	36 700
Agrícola a Pecuario	53 300
Bosques y Selvas a Agrícola	93 300
Bosques y Selvas a Pecuario	202 900
Agrícola a Bosques y Selvas	86 760

Tabla 4.2: Transiciones de coberturas 1993-2011 (Elaboración propia).

Los resultados encontrados tienen relación dada la ausencia de alternativas agrícolas apropiadas, aunado a que la ganadería se convirtió en la forma más accesible de utilizar los recursos naturales con la doble intención de asegurar la tenencia de la tierra y de obtener algunos ingresos monetarios (Santillán *et al*, 2007). Resultado de lo anterior, Chiapas ha logrado, de acuerdo con el SIAP (2017), ocupar el tercer lugar en producción bovina, décimo lugar en producción de miel, así como en producción porcina y 15° lugar en producción ovina (Figura 4.2).

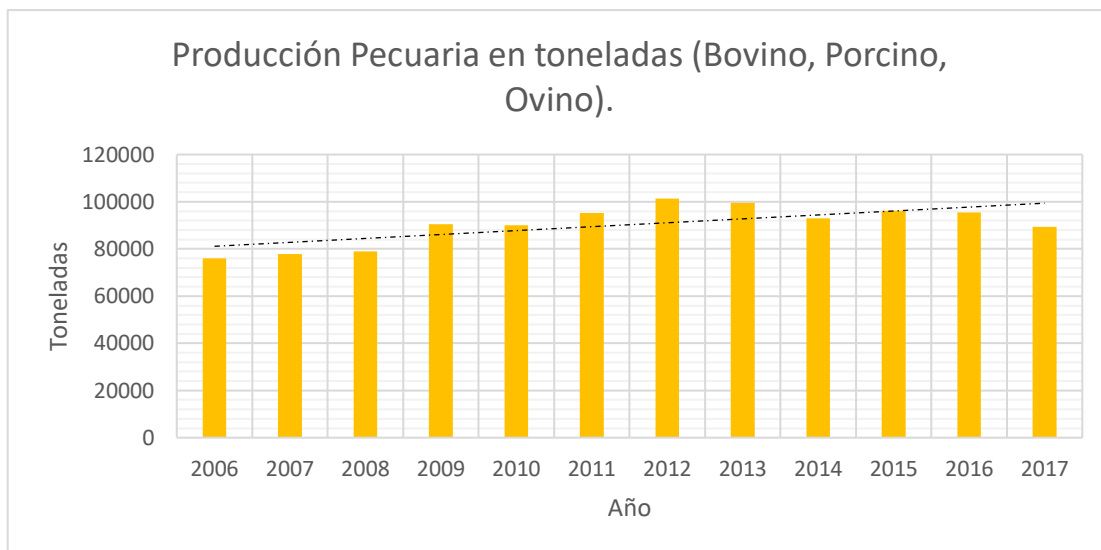
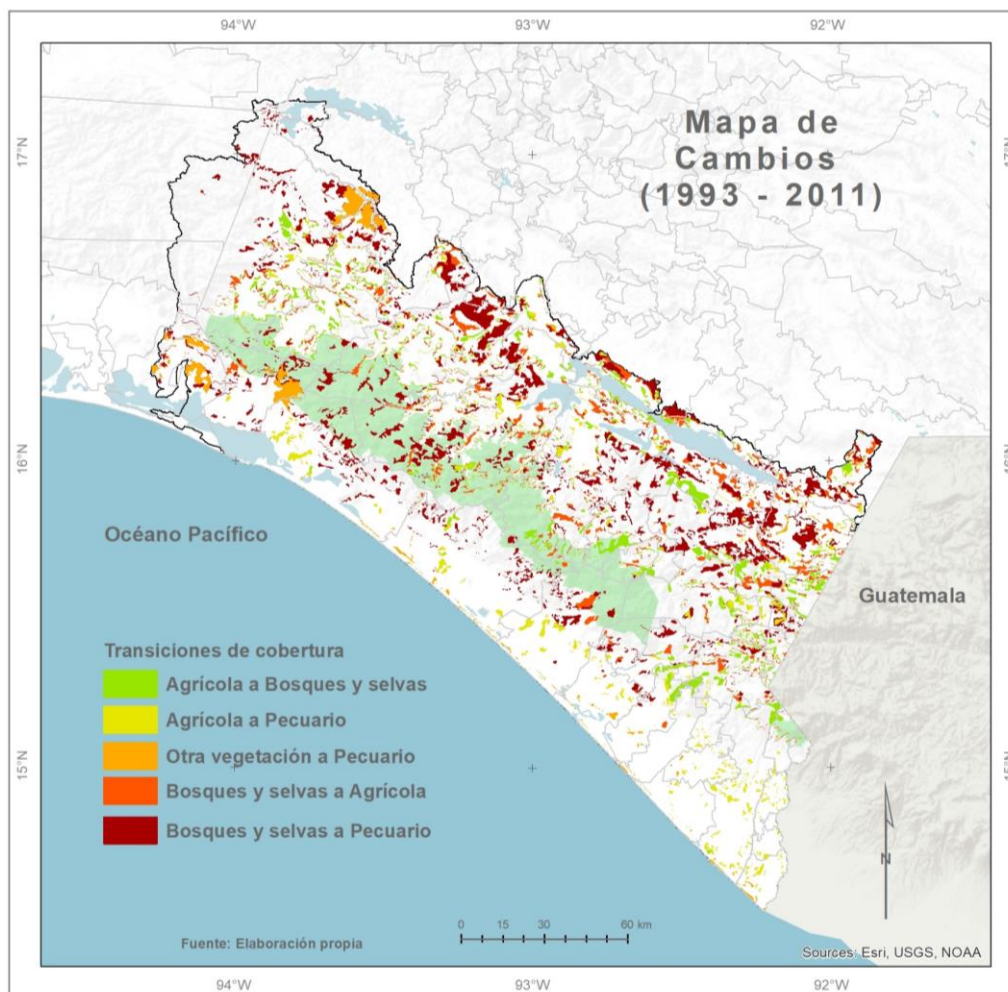


Figura 4.2: Producción Pecuaria en el periodo 1993-2016 (SIAP, 2017).



Mapa 4.1: Cambios de uso de suelo en el área de estudio (Elaboración propia).

4.2 Variables explicativas biofísicas de cambio

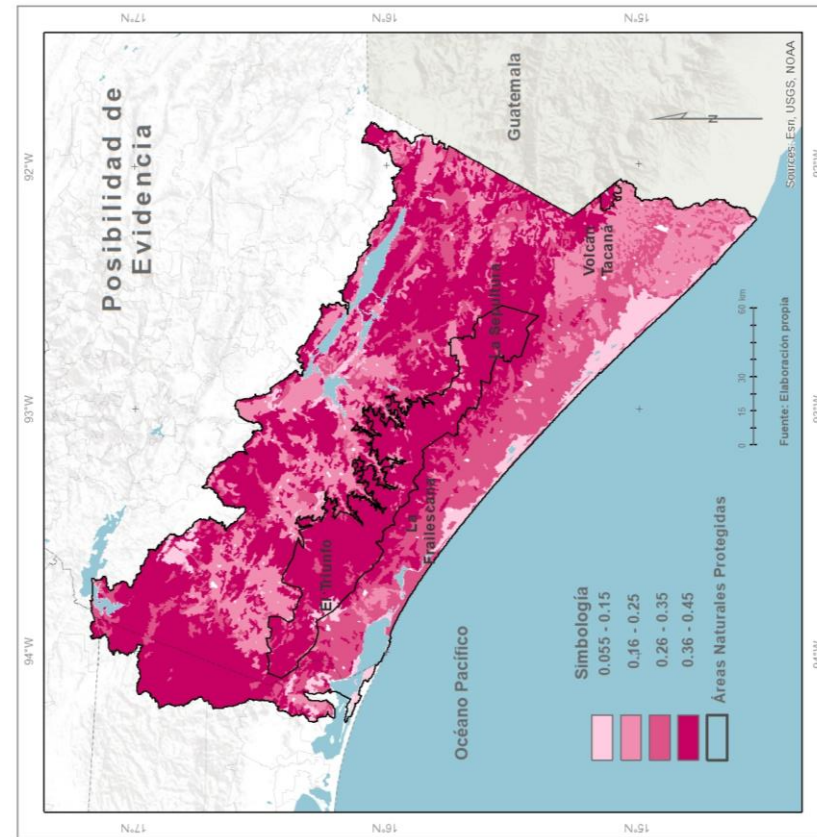
Partiendo desde la generación del mapa de cambios, para llevar a cabo los escenarios tendenciales es necesario una serie de variables explicativas, y además de ello, que guarden una correlación con los distintos usos de suelo. Por ello, se obtuvo la correlación a través del coeficiente de Cramer de las variables biofísicas (Tabla 4.3). En la tabla se expone la relación que guarda cada variable con el distinto uso de suelo en donde se puede observar que las cuatro variables biofísicas consideradas mantienen una correlación de acuerdo a su cobertura. Es decir, que los asentamientos humanos mantienen una mejor relación con el modelo de elevación y la pendiente a diferencia de los bosques y selvas de acuerdo a que el desarrollo antropogénico se da en pendientes más suaves y áreas con menor elevación. Lo anterior ayuda a entender la capacidad explicativa de los cambios que se ejercen en el área del estudio con base en dichas variables.

Posibilidad de Evidencia.	V' Cramer	Modelo de Elevación	V' Cramer
<i>Overall</i>	0.5341	<i>Overall</i>	0.2839
Agricultura	0	Agricultura	0
Agua	0.6844	Agua	0.2867
Asentamientos Humanos	0.6885	Asentamientos Humanos	0.5814
Bosques y Selvas	0.8328	Bosques y Selvas	0.3349
Otra Vegetación	0.1608	Otra Vegetación	0.0784
Otros Usos	0.6780	Otros Usos	0.3329
Pecuario	0.0357	Pecuario	0.0424
Pendiente	V' Cramer	Incendios	V' Cramer
<i>Overall</i>	0.2513	<i>Overall</i>	0.1534
Agricultura	0	Agricultura	0.2296
Agua	0.2732	Agua	0.1727
Asentamientos Humanos	0.6089	Asentamientos Humanos	0.0761
Bosques y Selvas	0.2412	Bosques y Selvas	0.2891
Otra Vegetación	0.0875	Otra Vegetación	0.1013
Otros Usos	0.2583	Otros Usos	0.0487
Pecuario	0.03422	Pecuario	0.0960

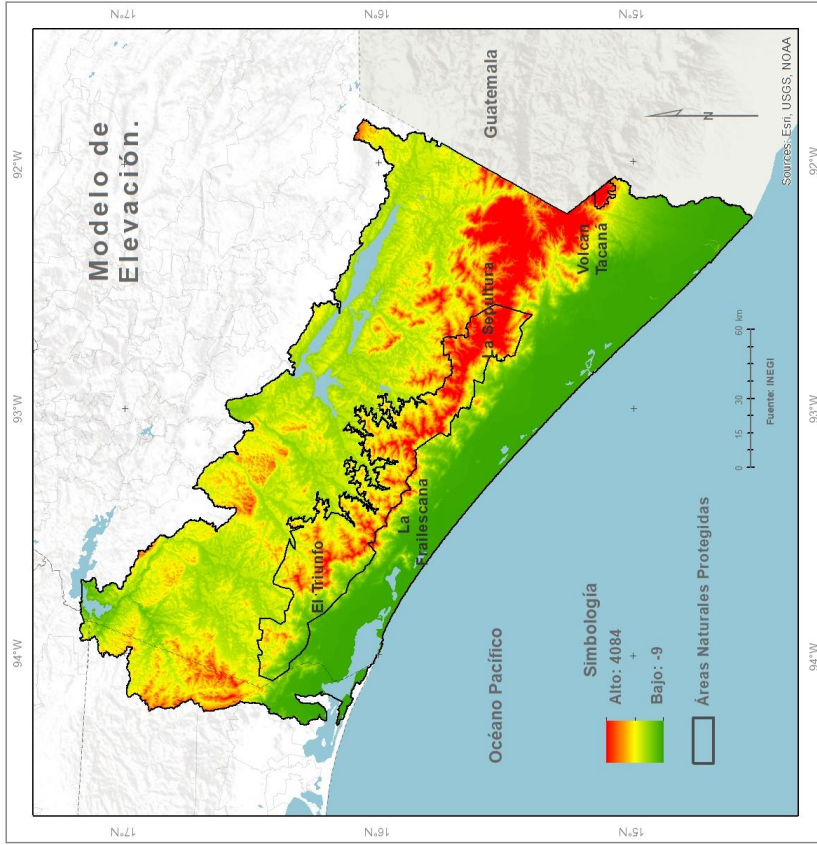
Tabla 4.3: Correlación de variables biofísicas con usos de suelo y vegetación (Elaboración propia).

En la generación de material cartográfico (Mapa 4.1-Mapa 4.4) se ubican espacialmente las principales áreas que pueden ser modificadas de acuerdo con una tasa transición calculada en el cambio de coberturas en el periodo de 1993-2011. Así mismo, destacan los incendios, los cuales se encuentran en su mayoría en zonas

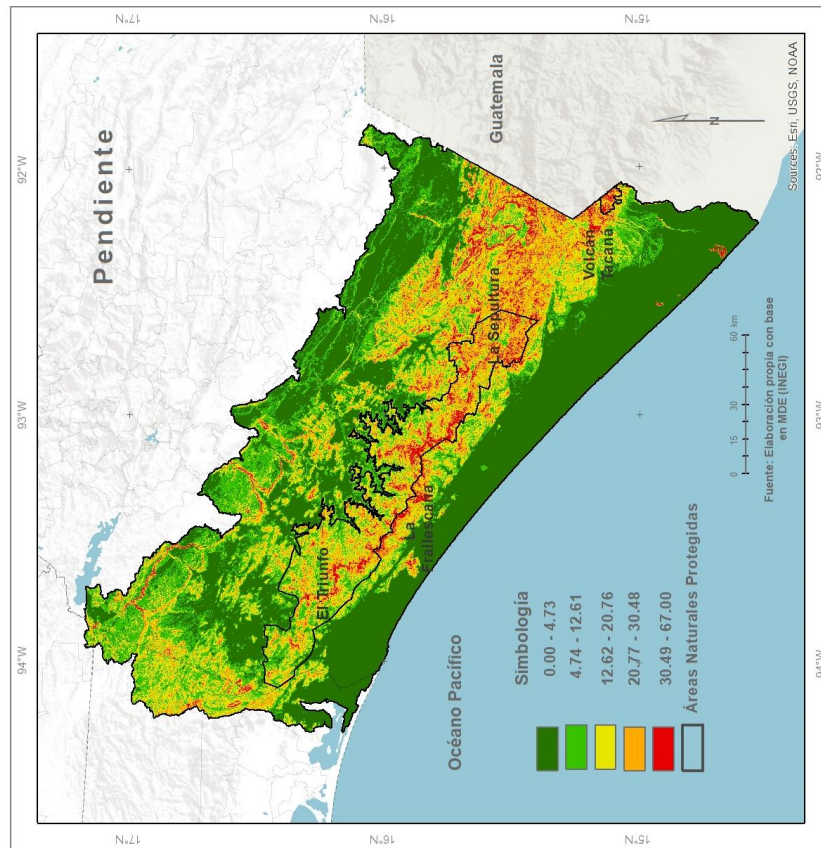
cercanas a las ANPs. Éstos pueden estar asociados a cambios directos en la vegetación de bosques y selvas a suelo destinado a la agricultura y, a su vez, causa una pérdida de la biodiversidad.



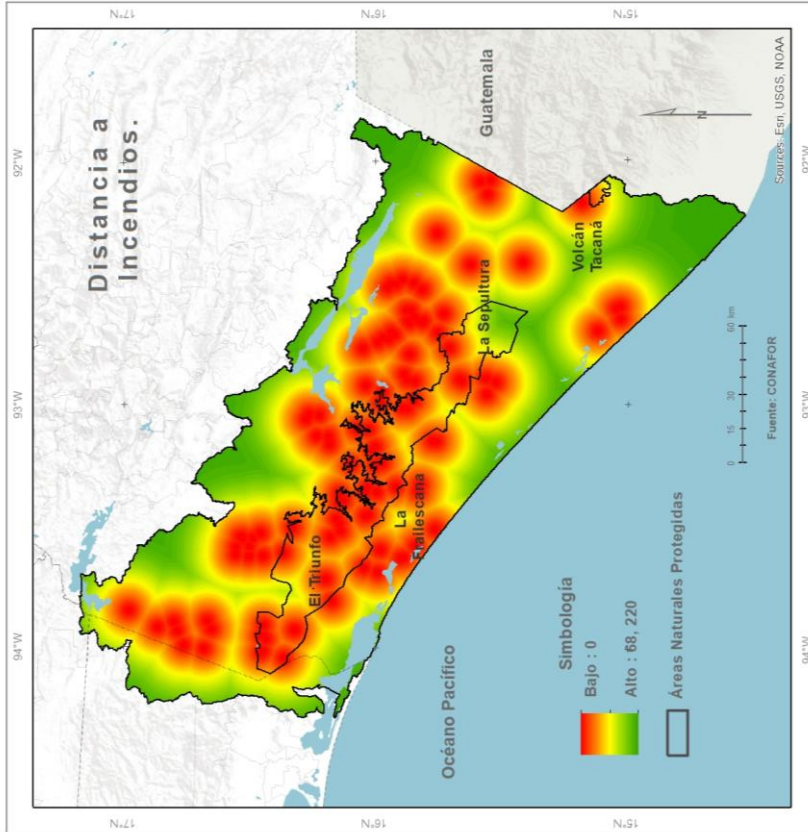
Mapa 4.2: Posibilidad de evidencia (Elaboración propia).



Mapa 4.3: Modelo Digital de Elevación (Elaboración propia).



Mapa 4.4: Pendiente (Elaboración propia).



Mapa 4.5: Distancia euclidiana a incendios (Elaboración propia).

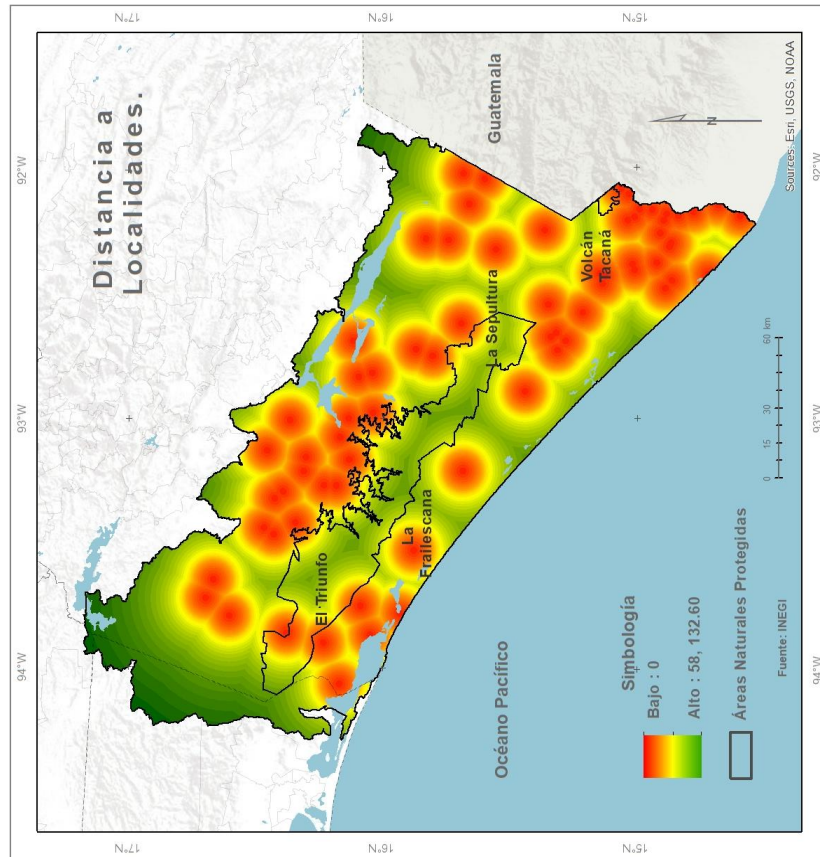
4.3. Variables explicativas antropogénicas

En el siguiente recuadro (Tabla 4.4) se presenta la matriz de valores resultantes de la correlación del coeficiente de Cramer con los distintos usos de suelo. De acuerdo con Siegel (1972), se tiene una relación pobre, aunque Eastman (2012), menciona que una correlación por arriba de 0.15 se considera influyente en los cambios. En contraste con otras investigaciones realizadas de modelos prospectivos de cambios de uso de suelo, Díaz-Pacheco (2014) igualmente incorpora variables antropogénicas en donde los valores mayores a 0.1 representan una relación superior.

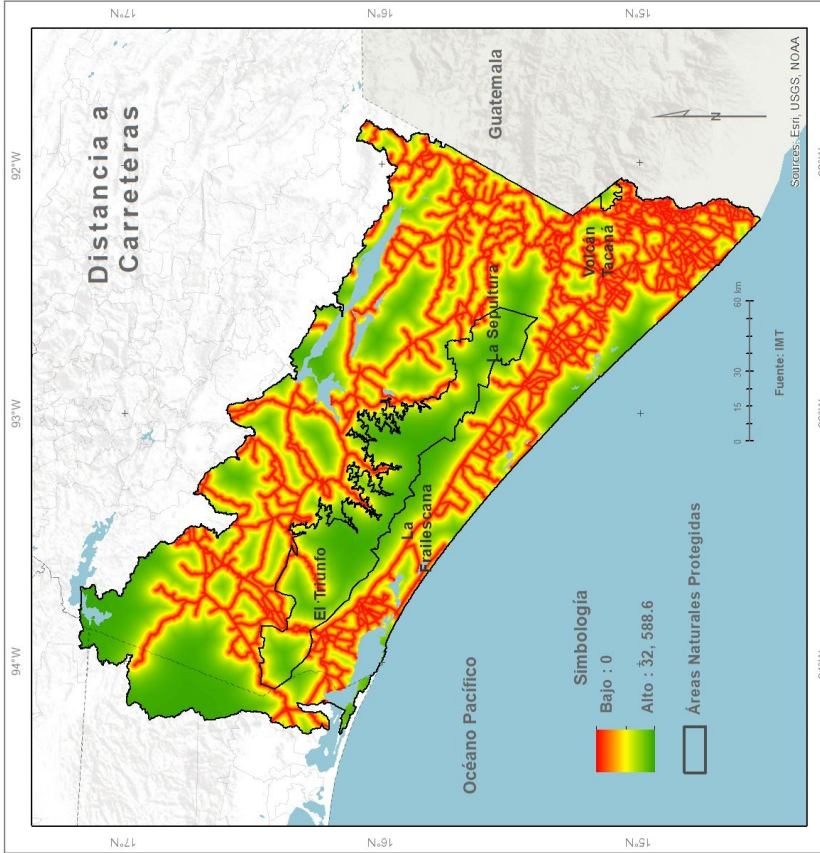
Distancia a Localidades	V' Cramer	Distancia a Carreteras	V' Cramer
<i>Overall</i>	0.2121	<i>Overall</i>	0.2091
Agricultura	0.2971	Agricultura	0.3373
Agua	0.1016	Agua	0.1212
Asentamientos Humanos	0.3021	Asentamientos Humanos	0.1051
Bosques y Selvas	0.3439	Bosques y Selvas	0.4405
Otra Vegetación	0.1426	Otra Vegetación	0.1044
Otros Usos	0.0231	Otros Usos	0.1994
Pecuario	0.1408	Pecuario	0.0165

Tabla 4.4: Correlación de variables antropogénicas con usos de suelo y vegetación
(Elaboración propia).

De acuerdo con la distancia euclidiana obtenida (Mapa 4.3), el crecimiento de localidades y de carreteras se concentran principalmente en la frontera con Guatemala, siendo la Reserva de la Biósfera Volcán Tacaná susceptible a cambios de uso de suelo y vegetación, así como también afectada gran parte de la Reserva de la Biósfera El Triunfo por localidades y carreteras de la carretera, afectaciones que repercuten en las rutas migratorias de la fauna y pérdida de la vegetación nativa.



Mapa 4.6: Distancia euclidiana a localidades
(Elaboración propia).



Mapa 4.7: Distancia euclidiana a carreteras
(Elaboración propia).

4.4. Cartografía participativa

Se llevó a cabo un taller de cartografía participativa en enero 26 y 27 de 2017, en las instalaciones de la Reserva de la Biósfera La Sepultura y en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH).

El objetivo del taller de cartografía participativa fue incorporar información local sobre los factores que intervienen e influyen en los ecosistemas y sus servicios a analizar sobre la situación actual y las principales tendencias de la provisión y demanda.



Figura 4.3: Explicación de la cartografía participativa para la generación de información.

Al taller asistió personal de las Reservas de la Biósfera Volcán Tacaná, El Triunfo, La Sepultura, Área de Protección de Recursos Naturales La Frailescana pertenecientes a la CONANP, así como también personal de la Secretaría de Planeación del Gobierno de Chiapas (SEPLAN), UNICACH, Pronatura Sur A.C., EcoValor Mx, CentroGeo y la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ).

La dinámica del taller fue a partir de formar cuatro grupos para la identificación de acciones y actores clave que jueguen a favor o en contra por cada ANP, posteriormente se hizo un mapeo a nivel regional para la complementación de información e incorporarla en la generación de modelos prospectivos.

Los resultados obtenidos fueron por Área Natural Protegida y área de estudio, y derivó en una capa de conocimiento de la cual se identificó un total de 330 actividades asociadas a alguna localidad del área de estudio.

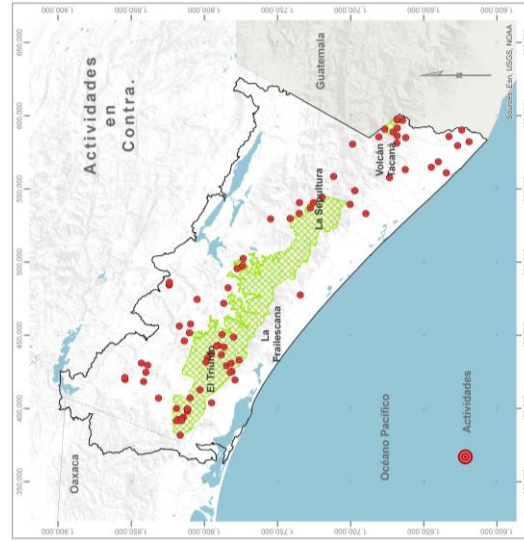
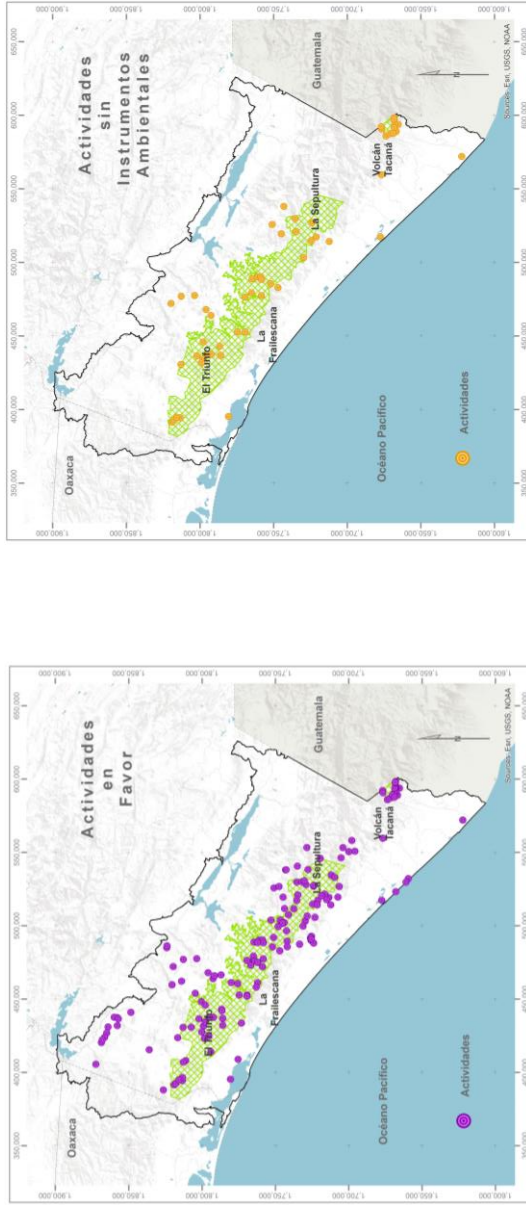
A partir del total, de acuerdo con criterios de importancia de actividad, temporalidad y actores involucrados, se seleccionaron 135 actividades de las cuales 71 actividades están relacionadas a sitios ecoturísticos, sistemas silvopastoriles, aprovechamiento forestal sustentable y reforestación, café de sombra natural, entre otros.



Figura 4.4: Mapeo de comunidades con proyectos que contribuyen o afectan los SE.

En referencia a la construcción de instrumentos ambientales, mediante bases de datos obtenidas a través de CONANP y CONAFOR, se construyó una compilación de apoyos en el periodo de 2010-2015, de manera que 71 pertenecen al programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA), 49 se encuentran en Áreas de Conservación Voluntaria y 52 en el programa de Maíz Criollo. Se dieron un total de 243 actividades que juegan en favor del ecosistema en el área de estudio.

Mientras que para actividades que deterioran los servicios ecosistémicos se tienen 64 acciones relacionadas a la minería, ganadería extensiva, agricultura tradicional, cultivo de amapola, aprovechamiento ilegal forestal y deforestación, entre otras. Asimismo, se añadieron 23 bancos mineros a este tipo de actividades, cuyo resultado fue un total de 87.



Mapa 4.8: Registros de actividades finales por localidad (Elaboración propia).

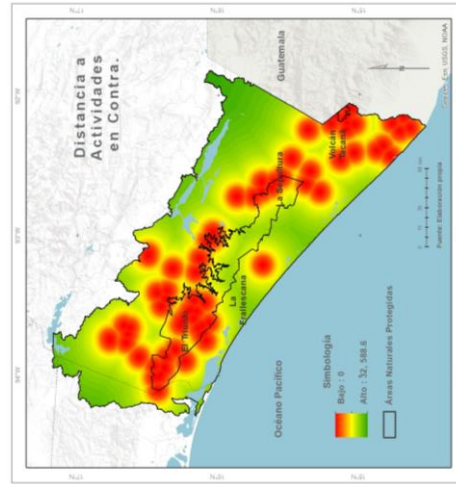
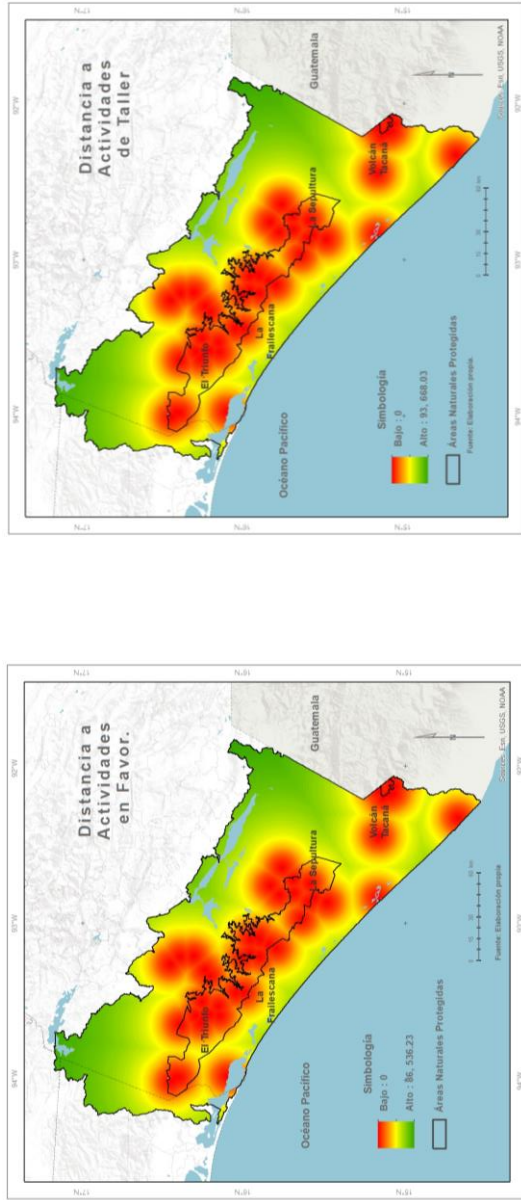
La capa de conocimiento se asoció a la base de datos de localidades de INEGI, en donde cada actividad se encuentra en función del tamaño de la población. A partir de esta asociación, se generó la distancia euclidiana para las tres capas del modelo.

Se obtuvo la correlación de las variables con los distintos usos de suelo y vegetación a través del Coeficiente de Cramer. La matriz resultante mantiene una relación de pobre a moderada entre las distancias a las actividades y los usos de suelo y vegetación. Podemos encontrar mejores relaciones explicativas de cambio de los bosques y selvas, así como la parte pecuaria.

Distancia Actividades en Favor	V' Cramer	Distancia Actividades sin Instrumentos	V' Cramer
<i>Overall</i>	0.1527	<i>Overall</i>	0.1449
Agricultura	0.1464	Agricultura	0.0827
Agua	0.2687	Agua	0.1945
Asentamientos Humanos	0.0509	Asentamientos Humanos	0.0411
Bosques y Selvas	0.2307	Bosques y Selvas	0.2093
Otra Vegetación	0.0911	Otra Vegetación	0.1929
Otros Usos	0.0275	Otros Usos	0.0375
Pecuario	0.1281	Pecuario	0.1654
Distancia Actividades En Contra		V' Cramer	
<i>Overall</i>		0.1563	
Agricultura		0.2120	
Agua		0.2358	
Asentamientos Humanos		0.0895	
Bosques y Selvas		0.0841	
Otra Vegetación		0.2057	
Otros Usos		0.0236	
Pecuario		0.0834	

Tabla 4.5: Correlación de variables de capa de conocimiento con usos de suelo y vegetación (Elaboración propia).

En consecuencia, encontramos en la cartografía elaborada que las actividades en favor se encuentran mayormente distribuidas dentro las ANPs, así como en su zona de influencia. Esto deriva en sólo el cuidado de las mismas y no en el resto de los ecosistemas, como observamos en la distribución de las actividades en contra, las cuales se desarrollan en el resto del área de estudio.



Mapa 4.9: Distancia euclidiana de actividades en favor y en contra de servicios ecosistémicos (Elaboración propia)

Se utilizó esta serie de variables, ya que se consideran significativas. En resumen, las variables utilizadas como agentes de cambio o *drivers* son consideradas como influyentes en los cambios de uso de suelo.

El modelo utilizado para la construcción de escenarios fue a través de Redes Neuronales (Perceptrón Multicapa). Mediante la agrupación de las transiciones (Tabla 4.2), se realizaron las siguientes dos ejecuciones (Tabla 4.12 y Tabla 4.13) de la red neuronal:

En la primera ejecución (Figura 4.5) se agruparon cinco transiciones en un submodelo evaluando ocho agentes de cambio (Tabla 4.12), incluyendo la capa de conocimiento generada a través del taller de cartografía participativa, así como los respectivos instrumentos ambientales.

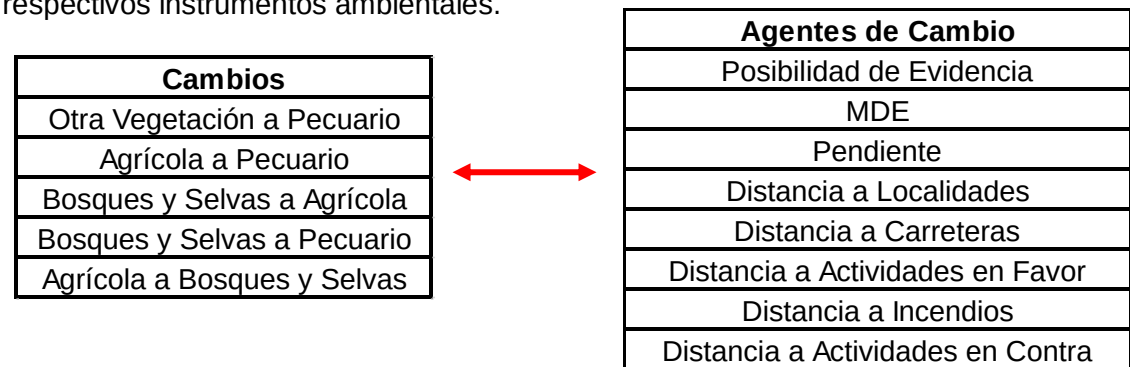


Tabla 4.6: Transiciones potenciales con variables explicativas de Escenario Tendencial (elaboración propia).

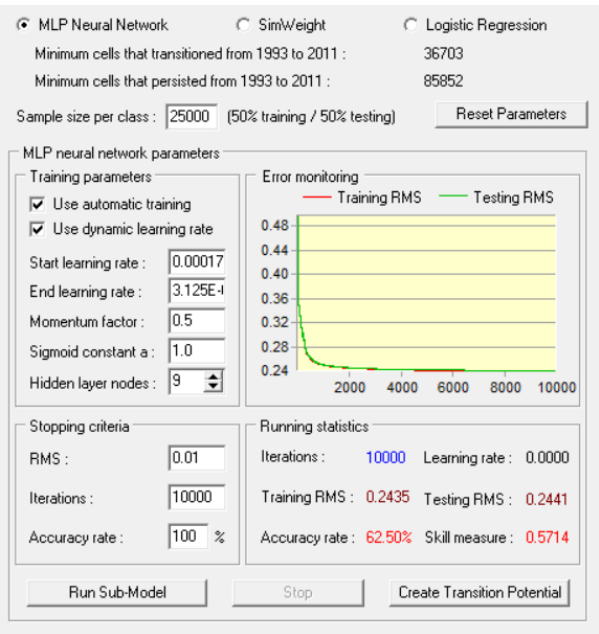


Figura 4.5: Ejecución de Transiciones y Agentes de Cambio de Escenario Tendencial.

Para la segunda ejecución (Figura 4.3), se tomaron nuevamente las cinco ejecuciones en un submodelo, y a diferencia de la ejecución anterior, la capa de “Distancia a Actividades en Favor” se divide en “Actividades de PGIS” e “Instrumentos Ambientales”, evaluando únicamente las actividades que juegan a favor del ecosistema (Tabla 4.7).

Cambios		Agentes de Cambio
Otra Vegetación a Pecuario	↔	Posibilidad de Evidencia
Agrícola a Pecuario		MDE
Bosques y Selvas a Agrícola		Pendiente
Bosques y Selvas a Pecuario		Distancia a Localidades
Agrícola a Bosques y Selvas		Distancia a Carreteras
		Distancia a Actividades de PGIS
		Distancia a Incendios
		Distancia a Actividades en Contra

Tabla 4.7: Transiciones potenciales con variables explicativas de Escenario Tendencial sin Instrumentos Ambientales (Elaboración propia).

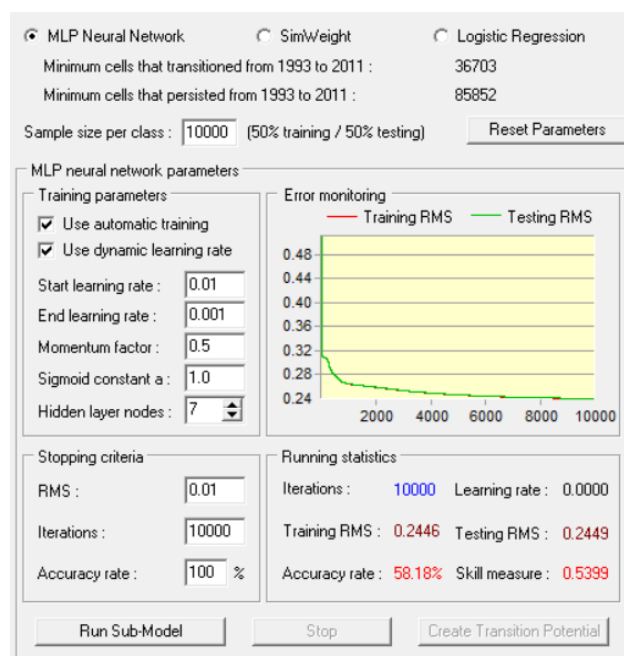


Figura 4.6: Ejecución de Transiciones y Agentes de Escenario Tendencial sin Instrumentos Ambientales.

De acuerdo con Eastman (2012), la tasa de exactitud debe de ser por arriba del 50%, así como un error cuadrático medio menor a 0.25, dando por hecho que los resultados obtenidos (Tabla 4.8) a través de la ejecución del método de Redes Neuronales es óptimo para la construcción de escenarios:

Ejecuciones	Error Cuadrático Medio		Tasa de Exactitud
	Entrenamiento	Prueba	
Tendencial	0.24	0.24	62.5%
Tendencial sin Instrumentos Ambientales.	0.24	0.25	61.03%

Tabla 4.8: Resultados estadísticos obtenidos mediante RNA (Elaboración propia).

Utilizar el método de redes neuronales permitió la generación de escenarios prospectivos a través de una relación establecida en el pasado y también la incorporación de agentes de cambio para la modelación de múltiples transiciones que impulsan cambios de uso de suelo en el área. Aunado a esto, los factores esenciales para la calibración son establecidos de manera automática y tienden a modificarse de acuerdo con la experiencia adquirida, el modelo busca el resultado más óptimo y la menor incertidumbre.

Sin embargo, algunos autores (Tu, J.V, 1996 y Mas *et al.* 2004) mencionan un sobreajuste en la creación de nuevos resultados, es decir, los escenarios generados a través de redes neuronales serán muy similares a pesar de las variables vinculadas, es por ello por lo que se propone la exploración de distintas metodologías para la modelación prospectiva, como es el método de autómatas celulares el cual explica el cambio a partir del estado actual de una celda y los cambios ocurridos en las celdas vecinas.

De acuerdo con trabajos anteriores (Mas *et al.*, 2004), se especula que dichas tasas de exactitud obtenidas durante la ejecución de la red neuronal generan un grado de incertidumbre, el cual es causado por la inserción de grandes áreas, así como entre más submodelos a evaluar se tengan, creando así mucho mayor complejidad en la búsqueda y creación de patrones. Esto no quiere decir que el modelo sea un fracaso al no concluir en un predicción precisa y certera; es decir, las redes neuronales encuentran patrones de comportamiento en el cambio de uso de suelo, señalando áreas potencialmente alteradas en el futuro.

Otra limitante del modelo usado está asociado a las series de uso de suelo y vegetación de INEGI, dado que se desconoce la precisión cartográfica de estos insumos, aunque resulta un insumo invaluable por la temporalidad de éstas. Un aspecto de mejora sería la generación propia de capas de uso de suelo y vegetación a

partir de clasificaciones de uso de suelo vegetación que permitiera conocer la incertidumbre a cada una de las clases de mayor interés en el estudio.

4.4. Modelación prospectiva

Mediante el método de Cadenas de Markov se elaboró una matriz de cambio (Tabla 4.9), en la que se expresa la probabilidad de un píxel tienda al cambio de una cierta clase a otra en determinado tiempo:

De: / Hacia:	Agrícola	Agua	Bosques y Selvas	Asentamientos Humanos	Otra Vegetación	Otros Usos	Pecuario
Agrícola	0.6815	0.0052	0.1801	0.0141	0.0055	0.0008	0.1128
Agua	0.0216	0.8437	0.0340	0.0014	0.0522	0.0005	0.0466
Bosques y Selvas	0.0967	0.0018	0.7067	0.0016	0.0032	0.0003	0.1898
Asentamientos Humanos	0.2011	0.0014	0.0195	0.6689	0.0030	0.0001	0.1060
Otra Vegetación	0.0633	0.0369	0.0712	0.0051	0.4767	0.0041	0.3427
Otros Usos	0.0829	0.0715	0.0610	0.0194	0.5579	0.0057	0.2017
Pecuario	0.1914	0.0067	0.1792	0.0125	0.0312	0.0015	0.5775

Tabla 4.9: Matriz de cambio 2011- 2039 (Elaboración propia).

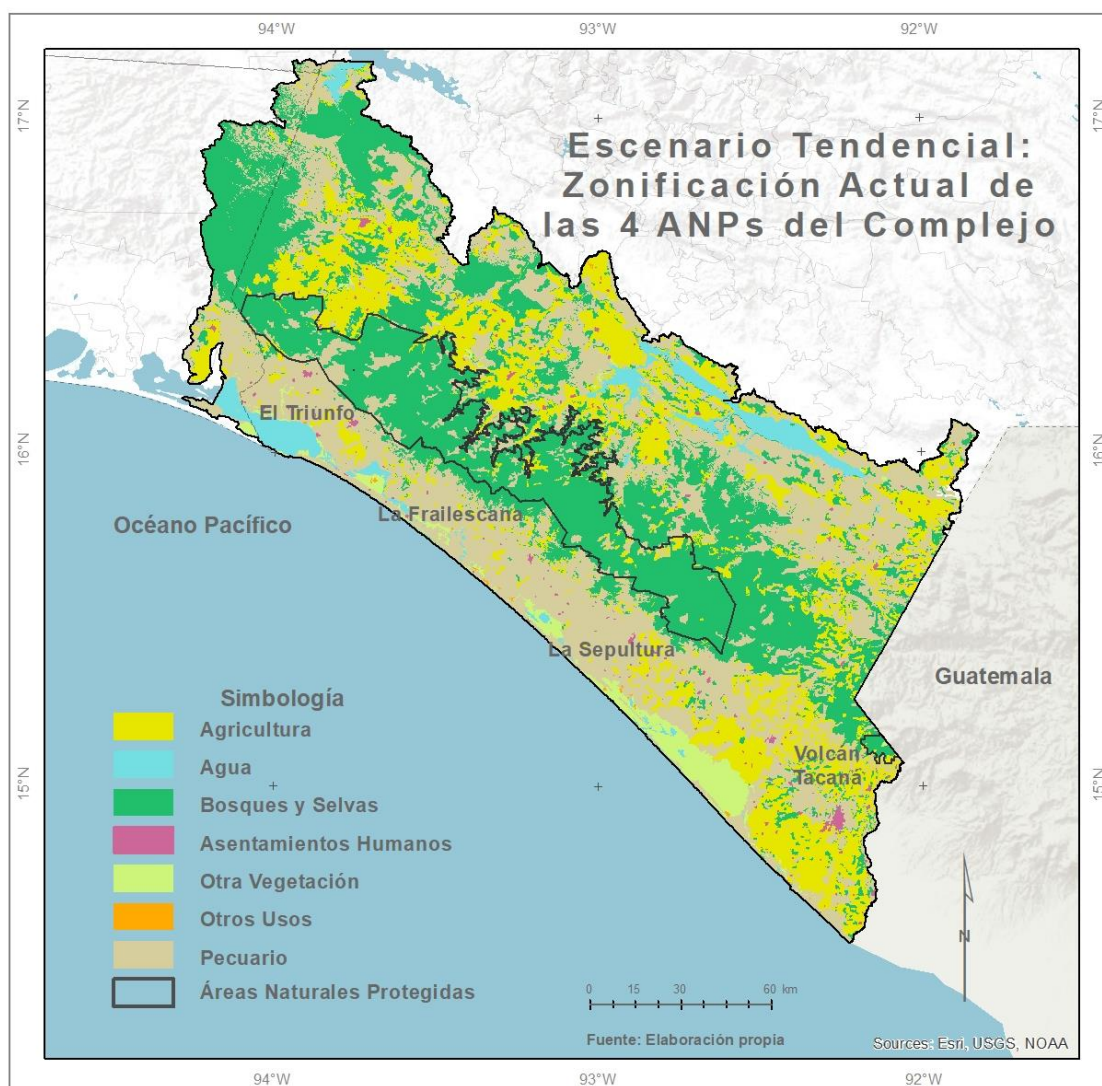
Los resultados obtenidos están calculados en función de los cambios ocurridos durante el período 1993-2011 (Figura 4.1), figurando los mayores cambios en las transiciones generadas (Tabla 4.2). Dichos cambios expresan los valores más altos en la matriz; por ejemplo, bosques y selvas tienen el valor más alto en los cambios a la superficie agrícola, mientras que otra vegetación obtiene los mayores cambios a la superficie pecuaria.

Se establecieron áreas con restricción y con incentivos de cambio; éstas áreas sirvieron para anular o acelerar los cambios. En el caso particular de la investigación, las ANPs de las Sierra Madre de Chiapas fungieron como restricciones; en otras palabras, como zonas de no cambio perjudicial.

Para este trabajo, se establecieron los polígonos de las 4 ANPs como zonas de restricción, obteniendo un valor de cero para que no existan cambios dentro del área a pesar de la incidencia de los agentes de cambio en dichas áreas.

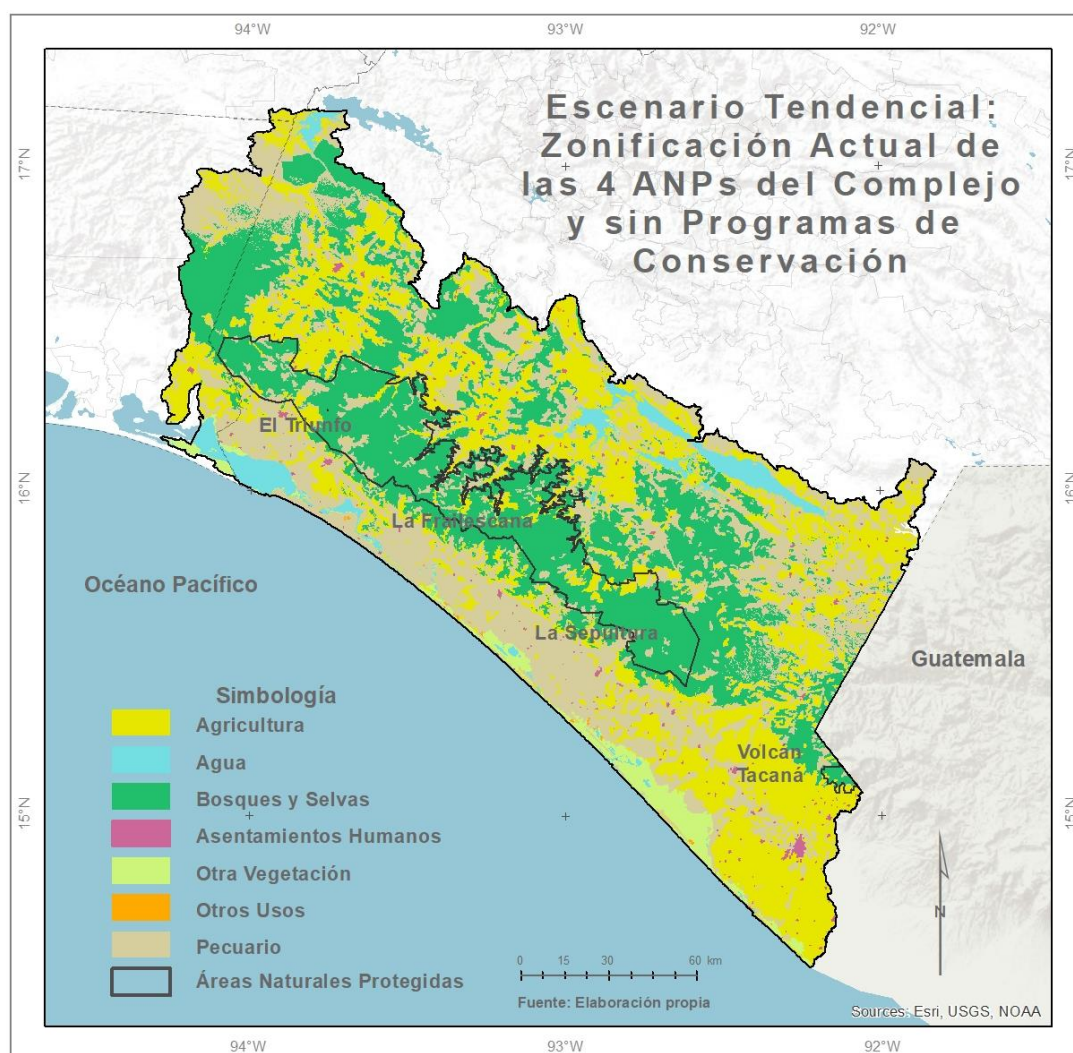
Lo anterior derivó a la creación dos tipos de escenarios: Tendencial (Mapa 4.10) y Tendencial sin Instrumentos Ambientales (Mapa 4.11). La diferencia principal de uno del otro es la incorporación de los instrumentos ambientales, pues se encontraron aumentos en la cobertura de la agricultura y sector pecuario en las ANPs en el segundo escenario, asociando esto a la ausencia de dichos instrumentos.

Tendencial (Mapa 4.10), se encuentra relacionado con la primera ejecución, en la cual se encuentran anidados los instrumentos ambientales en las actividades en favor de los servicios ecosistémicos. Podemos observar el patrón espacial de los bosques y selvas que se conservan dentro de las ANPs, así como una mayor distribución del sector pecuario.



Mapa 4.10: Escenario Tendencial 2039 en Sierra Madre de Chiapas (Elaboración propia).

Tendencial sin Instrumentos Ambientales (Mapa 4.11) implica la exclusión de los instrumentos ambientales al evaluar la eficiencia de los mismos respecto a las actividades que afectan y benefician en el área de estudio, y realizar un contraste con el mapa anterior.



Mapa 4.11: Escenario Tendencial 2039 sin Instrumentos en Sierra Madre de Chiapas
(Elaboración propia).

De acuerdo con los mapas generados, se obtuvieron los siguientes datos estadísticos a nivel área de estudio (Tabla 4.10):

Uso Suelo (ha)	2011		2039 (Tendencial)		2039 (Tendencial sin Instrumentos Ambientales)	
Agricultura	725 916	23.59%	642 612	20.90%	920 386	29.93%
Agua	104, 39	3.41%	104 839	3.41%	104 839	3.41%
Bosques y Selvas	1 338 408	43.50%	1 085 045	35.28%	954 313	31.03%
Asentamientos Humanos	22 844	0.74%	22 840	0.74%	22 840	0.74%
Otra Vegetación	113 276	3.68%	74 455	2.42%	74 455	2.42%
Otros Usos	2 655	0.09%	2 655	0.09%	2 655	0.09%
Pecuario	768 762	24.99%	1 142 800	37.16%	995 758	32.38%
Total	3 076 700	100%	3 075 246	100.00%	3 075 246	100.00%

Tabla 4.10: Datos estadísticos comparativos de Sierra Madre de Chiapas (Elaboración propia).

Como se observó en la Figura 4.1, la problemática de Chiapas en el cambio de uso de suelo gira entorno al crecimiento de la frontera agropecuaria. Se puede identificar en el Escenario Tendencial que los cambios representativos en la cobertura de Bosques y Selvas son debido al uso de suelo Pecuario, decreciendo así la agricultura. Mientras que para el Escenario Tendencial sin Instrumentos Ambientales la cobertura de bosques y selvas decrece de una manera desmedida, encontramos que los cambios se deben a esta transición hacia agricultura y no a pecuario como el caso anterior. Dichos cambios ocurridos en el área se pueden asociar a dos principales fenómenos: la expansión de la frontera agrícola y el aumento de la producción pecuaria, las cuales traen consigo un crecimiento en las áreas dedicadas a estas actividades generando pérdida de bosques y selvas, y degradación en el suelo.

Pese a que en esta investigación no fue adjunta el ANP Reserva de la Biósfera La Encrucijada, Carabias *et al.* (1999) menciona un manejo extensivo de la ganadería, derivando así en una gran pérdida de la cobertura vegetal. Traducido en el modelo obtenido, en la zona de La Encrucijada se observa un cambio de uso de suelo de otra vegetación hacia el sector pecuario, lo cual nos indica la eficiencia de los instrumentos ambientales.

Ordoñez y Medina (2017) identifican crecimiento en el uso de suelo pecuario del 16.41%; sin embargo, la implementación de los instrumentos ambientales en el modelo de Redes Neuronales permite reducción a un 12.17%, es decir, la utilidad de dichas herramientas permite la conservación de bosques y selvas.

Los cambios que ocurren a nivel de Área Natural Protegida se presentan en las siguientes tablas:

La Frailescana (ha)						
Uso Suelo	2011		2039 (Escenario Tendencial).		2039 (Escenario Tendencial sin Instrumentos).	
Agricultura	7 717	6.61%	4171	3.57%	8 025	6.87%
Agua	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Bosques y Selvas	96 663	82.79%	99 406	85.13%	92 581	79.29%
Asentamientos Humanos	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Otra Vegetación	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Otros Usos	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Pecuario	12 383	10.61%	13 186	11.29%	16 157	13.84%
Total	116 763	100%	116 763	100%	116 763	100%

Tabla 4.11: Superficie de cambios en la ANP “La Frailescana” (elaboración propia).

El Triunfo (ha)						
Uso Suelo	2011		2039 (Escenario Tendencial).		2039 (Escenario Tendencial sin Instrumentos).	
Agricultura	10 039	8.42%	4 715	3.96%	10 237	8.59%
Agua	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Bosques y Selvas	105 138	88.22%	106 455	89.32%	99 904	83.82%
Asentamientos Humanos	26	0.02%	26	0.02%	26	0.02%
Otra Vegetación	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Otros Usos	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Pecuario	3 979	3.34%	7 986	6.70%	9 015	7.56%
Total	119 182	100%	119 182	100%	119 182	100%

Tabla 4.12: Superficie de cambios en la ANP “El Triunfo” (elaboración propia).

La Sepultura (ha)						
Uso Suelo	2011		2039 (Escenario Tendencial).		2039 (Escenario Tendencial sin Instrumentos).	
Agricultura	4 332	2.59%	2 991	1.79%	10 155	6.07%
Agua	27	0.02%	27	0.02%	27	0.02%
Bosques y Selvas	134 410	80.33%	135 736	81.12%	127 044	75.93%
Asentamientos Humanos	9	0.01%	9	0.01%	9	0.01%
Otra Vegetación	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Otros Usos	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Pecuario	28 544	17.06%	28 559	17.07%	30 087	17.98%
Total	167 322	100%	167 322	100%	167 322	100%

Tabla 4.13: Superficie de cambios en la ANP “La Sepultura” (elaboración propia).

Volcán Tacaná (ha)						
Uso Suelo	2011		2039 (Escenario Tendencial).		2039 (Escenario Tendencial sin Instrumentos).	
Agricultura	1 458	22.90%	1 305	20.50%	1 448	22.74%
Agua	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Bosques y Selvas	4 635	72.80%	4 755	74.68%	4 433	69.62%
Asentamientos Humanos	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Otra Vegetación	260	4.08%	260	4.08%	0	0.00%
Otros Usos	14	0.22%	14	0.22%	14	0.22%
Pecuario	0	0.00%	33	0.52%	472	7.41%
Total	6 367	100%	6 367	100%	6 367	100%

Tabla 4.14: Superficie de Cambios en la ANP “Volcán Tacaná” (elaboración propia).

En un contexto general de las ANPs, la cobertura de Bosques y Selvas para el primer escenario decrece la agricultura, así como la cobertura pecuaria sin incrementarse de manera exponencial, pero si sosegada por los instrumentos ambientales. Sin embargo, la Reserva de la Biósfera El Triunfo tiene un crecimiento de la cobertura pecuaria en un 3.36%; es decir, lo que anteriormente usualmente era agricultura se convierte en potreros, suponiendo un riesgo para la vegetación primaria de El Triunfo.

En el segundo escenario, la exclusión de los instrumentos ambientales deriva en una pérdida de bosques y selvas en el complejo de ANPs de la Sierra Madre de Chiapas. En La Reserva de la Biósfera La Sepultura, la pérdida del 5.19% de cobertura forestal procede en una transición hacia un uso de suelo agrícola, siguiendo la misma

tendencia el Área de Protección de Recursos Naturales La Frailescana y La Reserva de la Biósfera El Triunfo.

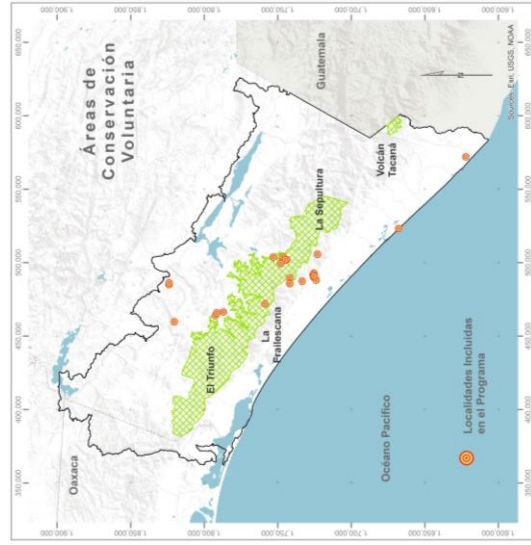
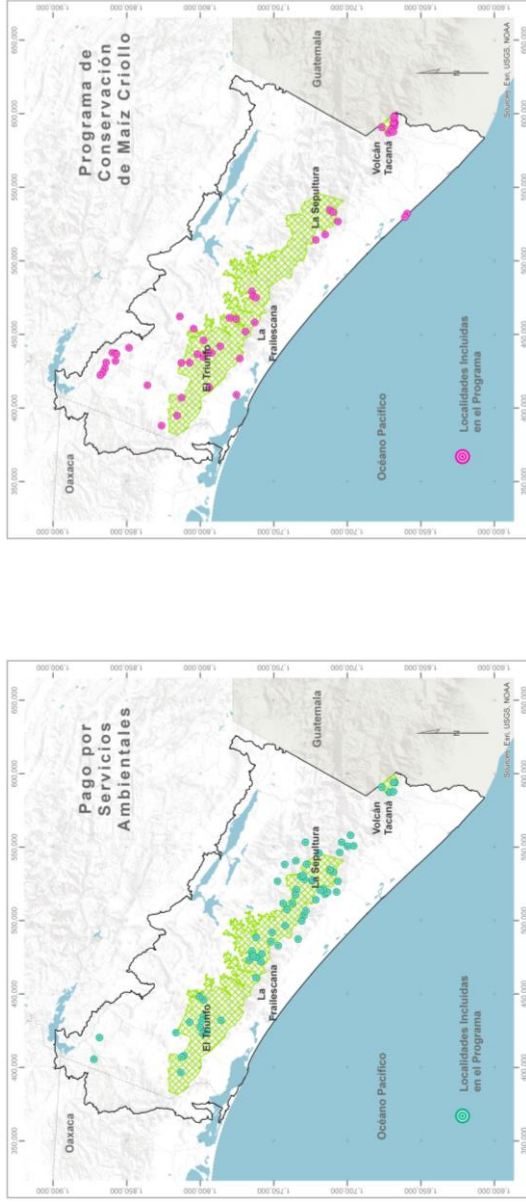
Volcán Tacaná se muestra como un caso particular en el segundo escenario, ya que la pérdida de cobertura forestal sigue una tendencia hacia lo pecuario. De acuerdo con CONANP (2013), en el ANP se practica la ganadería extensiva y la cubierta vegetal se encuentra comprometida por la introducción de agricultura tradicional de frijol, maíz y café.

Por lo anterior, se puede asumir que los instrumentos ambientales tienen una influencia en los cambios de uso de suelo y vegetación esperados dentro de las Áreas Naturales Protegidas.

4.5. Instrumentos Ambientales

La finalidad de esta investigación radica en la importancia de los efectos que tienen los instrumentos económicos ambientales ante los efectos agropecuarios a través los cambios de uso de suelo.

Como se observa en las representaciones cartográficas de los instrumentos ambientales, PSA y Maíz Criollo han tenido una mayor aplicación y desarrollo en el Complejo de ANPs de Sierra Madre de Chiapas durante el periodo de 2010 a 2015, a diferencia de ACV, en donde la mayor gestión se lleva a cabo en el ANP La Frailescana.



Mapa 4.10: Distribución de Instrumentos Ambientales en Sierra Madre de Chiapas (Elaboración propia)

Entre ambos escenarios, Tendencial Actual y Tendencial Actual sin Instrumentos Ambientales, se obtuvo la diferencia de las áreas que sufrieron cambios de bosques y selvas hacia algún distinto uso de suelo. Dicha diferencia y comparación entre ambos escenarios se basa en el análisis de las estadísticas para así encontrar cuál de los tres instrumentos evaluados demuestra mayor pérdida de cobertura forestal si fuera interrumpido.

Las áreas resultantes que sufren cambios están expresadas en las siguientes tablas:

Maíz Criollo		
Hectáreas	Porcentaje	Cambios
2 526	54.44%	Bosque a Pecuario
1 451	31.27%	Bosque a Agricultura
342	7.37%	Bosque a Asentamientos
164	3.53%	Bosque a Agua
69	1.49%	Bosque a Otra Vegetación
45	0.97%	Bosque persiste
43	0.93%	Bosque a Otros Usos
4 640	100%	Total

Tabla 4.15: Cambios de la cobertura de bosques y selvas en Maíz Criollo (elaboración propia).

PSA		
Hectáreas	Porcentaje	Cambios
15 398	79.07%	Bosque a Pecuario
3 686	18.93%	Bosque a otros usos
115	0.59%	Bosque a Otra Vegetación
115	0.59%	Bosque persiste
90	0.46%	Bosque a Agricultura
68	0.35%	Bosque a Agua
3	0.02%	Bosque a Asentamientos
19 475	100%	Total

Tabla 4.16: Cambios de la cobertura de Bosques y selvas en PSA (elaboración propia).

ACV		
Hectáreas	Porcentaje	Cambios
2 259	87.19%	Bosque a Pecuario
140	5.40%	Bosque a otra vegetación
72	2.78%	Bosque a Otros usos
69	2.66%	Bosque a Agricultura
48	1.85%	Bosque a Agua
2	0.08%	Bosque a Asentamientos
1	0.04%	Bosque persiste
2 591	100%	Total

Tabla 4.17: Cambios de la cobertura de bosques y selvas en ACV (elaboración propia).

El efecto de los instrumentos ambientales en el papel de recuperar y conservar los bosques y selvas en el complejo de ANPs en la Sierra Madre de Chiapas, demuestra que ante la ausencia este tipo de técnicas los ecosistemas tienden a retroceder y aumenta la frontera agropecuaria.

En la siguiente tabla se puede observar el efecto de los instrumentos sobre cada una de las ANPs y la cobertura de los bosques y selvas. En ella, se puede apreciar la operatividad, donde la mayor cobertura se sitúa en El Triunfo (Tabla 4.18).

ANP	ACV	PROMAC	PSA	Total (ha)
La Frailescana	842	1 591	1 451	3 884
El Triunfo	919	0	4 478	5 397
La Sepultura	0	1 597	1 410	3 007
Volcán Tacaná	0	533	29	562
Total (ha)	1 761	3 721	7 368	12 850

Tabla 4.18: Cobertura de bosques y selvas en ANPs por instrumento (elaboración propia).

El Pago por Servicios Ambientales (PSA) se vuelve un instrumento que ayuda en la conservación de la cobertura forestal en el área de estudio, siendo la Reserva de la Biósfera El Triunfo con el 23% de hectáreas, la mayor en proteger los bosques y selvas. Esto tiene sentido, ya que, de acuerdo con Carabias (1999), en esta reserva yacen los bosques de niebla y bosque lluvioso, refugio del 24% de especies de flora y fauna silvestres del país, así como también repercute en el valor ecológico que recibe al ser una de las mayores regiones con mayor precipitación pluvial del país; mientras que, para el resto de las ANPs, en su conjunto conservan sólo el 14.8% de bosques y selvas a través de PSA.

El PROMAC destaca por ser uno de los programas que busca beneficiar a las comunidades que viven dentro de las ANPs y a su vez, el aprovechamiento de los recursos naturales de una manera sustentable para su conservación.

Así mismo, dentro de las ANPs, a través de PROMAC se resguardan más del 80% de hectáreas de bosques y selvas reportadas dentro de La Reserva de la Biósfera La Sepultura y el Área de Protección de Recursos Naturales La Frailescana, siendo estas áreas las que encabezan el desarrollo de este instrumento.

Las Áreas de Conservación Voluntaria, a pesar de ser instrumentos que no tengan un beneficio económico, han permitido que se cuenten con áreas destinadas a la preservación de bosques y selvas. Con ello, es la Reserva de la Biósfera El Triunfo la que mayor cuenta con este tipo de áreas, ya que el 35.5% yacen dentro de ella y otro 18.1% en el Área de Protección de Recursos Naturales La Frailescana.

Dicha evaluación de instrumentos ambientales determinó que estos fungen un papel significativo en los cambios de uso de suelo, en la protección y conservación de bosques y selvas del complejo de ANPs de Sierra Madre de Chiapas. A pesar que dichos instrumentos son de temporalidad sexenal, este tipo de investigaciones nos permite conocer los efectos sobre los bosques y así poder evaluar su eficiencia y aplicabilidad.

5. Conclusiones

A partir de los escenarios prospectivos generados, se puede concluir de manera general que dichos instrumentos atenúan la expansión de los sistemas productivos además de aportar una serie de beneficios y protección en la biodiversidad y de los mismos servicios ecosistémicos, así también como la preservación y restauración de bosques y selvas en las Áreas Naturales Protegidas y zonas circundantes de la Sierra Madre de Chiapas. Todo impacta de manera favorable la economía de las comunidades contiguas, promoviendo el uso de los recursos naturales de manera sustentable.

A pesar de ser un modelo prospectivo, éste presenta la ventaja de formular futuras hipótesis en la tendencia de los cambios de uso de suelo, así como la evaluación y análisis de sensibilidad de variables explicativas que funcionen como catalizadores en las transiciones de estas coberturas, generando a través de métodos de *estadística semiparamétrica*, una serie de escenarios prospectivos que permitan evaluar dichos cambios de uso de suelo y el impacto sobre el mismo de los instrumentos de política ambiental.

La presente investigación es de las primeras en México que integran la modelación prospectiva y en la integración de conocimiento de actores locales, derivada del taller de cartografía participativa como variables explicativas para la consideración de información que no se encuentra espacialmente explícita en muchas bases de datos; es decir, medir los efectos que tienen dichos instrumentos en los cambios de uso de suelo, en particular en los bosques y selvas del complejo de ANPs de Sierra Madre de Chiapas. Aunado a lo anterior, este tipo de ejercicios permite establecer un empoderamiento de los participantes con la investigación dado que se sienten parte del modelo. Tradicionalmente, los modelos de esta naturaleza sólo incorporan información biofísica y de infraestructura para su calibración. Cabe señalar que esto también tiene sus alcances o limitantes dado que depende de subjetividad y conocimiento *per se* de los involucrados en el taller; aunado a esto, los participantes del taller fueron miembros predominantemente del sector ambiental, lo cual genera un sesgo, por lo que un aspecto de mejora de la presente investigación es la de generar una capa de

conocimiento que involucre a miembros del sector agropecuario y de energía dada la relevancia y su papel en la dinámica socioeconómica en el área de estudio.

En este trabajo de investigación se presenta una aproximación a la tendencia en el uso de suelo en la Sierra Madre Chiapas, y en particular, en el complejo de ANPs. No obstante, en investigaciones futuras es necesario la incorporación del resto de ANPs federales y estatales, así como otros instrumentos de política ambiental que operen en el área de estudio. Esto permitiría tener una mayor cantidad de variables a considerar en el modelo y permita la generación de información de mayor utilidad para los tomadores de decisión.

Cabe destacar que papel que desempeña el geógrafo en la generación de información y conocimiento en el análisis territorial se vuelve transcendental dada la aplicación de una visión integral en la correlación de una heterogeneidad de elementos y variables. Su participación puede contribuir en la formulación de enfoques de análisis de fenómenos geográficos que deriven en impactos en la agenda de políticas públicas que coadyuve a la sostenibilidad de los recursos naturales.

La evaluación de políticas ambientales permite conocer los efectos de los instrumentos en la preservación de los servicios ecosistémicos ante los sistemas agropecuarios, lo cual ayuda a incentivar dichos instrumentos, así como evidencien la conservación de bosques y selvas y promuevan el uso de los recursos naturales de manera sustentable en favor de la protección de los servicios ecosistémicos. Así también, se sugiere la incorporación y participación de actores paralelos a la conservación, cuyas acciones coadyuven en la generación de conocimiento y toma de decisiones.

6. Bibliografía

- Aguilar, C.R., (2014) *Evaluación del Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos en el Parque Nacional Nevado de Toluca* (Tesis de Maestría). Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México. 65 pp.
- Aitken, S. y Michel, S. (1995) Who Contributes the “Real” in GIS: Geographic Information, Planning and Critical Theory en *Cartography and Geographic Information Systems* 22 (1): 17-29 págs.
- Art, H. (1993) *The dictionary of ecology and environmental science*. Henry Holt and Co., New York, 632 pp.
- Badii, M. H., Guillen, A., Rodríguez, C. E., Lugo, O., Aguilar, J., y Acuña, M. (2015). Pérdida de Biodiversidad: Causas y Efectos en *Revista Daena (International Journal of Good Conscience)*, 10(2).
- Bezaury-Creel, J., D. Gutiérrez Carbonell et al. (2009). Áreas naturales protegidas y desarrollo social en México en *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Conabio, México, pp. 385-431 págs.
- Bishop, C. M. (1994). *Neural network for pattern recognition*. Oxford, Oxford University Press.
- Boyd, J., Banzhaf, J., (2007) What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units en *Ecological Economics*.
- Brañez, R., (2000) *Manual de Derecho Ambiental Mexicano*. Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
- Brown, G., y Fagerholm, N. (2014). Empirical PPGIS/PGIS mapping of ecosystem services: a review and evaluation en *Ecosystem Services*, 13, 119-133.
- Burkhard, B., Maes, J., (2017) *Mapping Ecosystem Services*. Pensoft Publishers, Sofia, 374 pp.
- Burrough, P. A., y McDonell, R. A., 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. (Oxford University Press, New York), 190 pp.
- Buzai, G. D. (2007). Actualización de cálculos y distribuciones espaciales a través de cadenas de Markov y autómatas celulares: Pérdida de suelos en el área metropolitana de Buenos Aires–2001 en *Panorama de la Ecología de Paisajes en Argentina y Países Sudamericanos*. Buenos Aires: INTA, 433-450.
- Calderón, J. (2010). La política ambiental en México: Gestión e instrumentos económicos., México en *El Cotidiano*, no. 162. 91-97 págs.

- Camacho-Valdez, V. y Ruiz-Luna, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos en *Revista Bio Ciencias*, 1(4).
- Camacho, O., Molero, M. y Paegelow, M. (2014). Modelos geomáticos aplicados a la simulación de cambios de uso del suelo. Evaluación del potencial del cambio. Tecnología de la información geográfica en *La información geográfica al servicio de los ciudadanos*, Universidad de Sevilla. 658- 678 págs.
- Carabias, J., Provencio, E., de la Maza, J., y Pizaña, C. (1999). *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera de la Sepultura*. Instituto Nacional de Ecología, México D.F. Consultado en línea en: <https://goo.gl/iAEG1R>
- Carabias, J., Provencio E., de la Maza, J., y Hernández, A. (1999). *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera del Triunfo*. Instituto Nacional de Ecología, México D.F. Consultado en línea en: <https://goo.gl/MHVKEQ>
- Carabias, J., Provencio E., de la Maza, J., y Jiménez, F. (1999). *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada*. Instituto Nacional de Ecología, México D.F. Consultado en línea en: <https://goo.gl/16Ab5H>
- Carbonell, J.G., Michalski, R.S., y T.M. Mitchell, (1983). An overview of machine learning en *Machine Learning, Vol. I*, Morgan Kaufmann, Inc., San Mateo, California.
- Cataldi, Z., Salgueiro, F., & Lage, F. (2006). Predicción del rendimiento de los estudiantes y diagnóstico usando redes neuronales. *Enseñanza*, 14, 15 pp.
- Cedeño-Sánchez, O. 2001 Situación actual sobre los incendios forestales y sus principales causas. En: *Memoria del II Foro Internacional sobre los Aprovechamientos Forestales en Selvas y su Relación con el Ambiente*. SEMARNAT-FAO-Gob. Estado de Veracruz. 235-252 págs.
- Challenger, A., Dirzo, R., López, J. C., Mendoza, E., Lira-Noriega, A., & Cruz, I. (2009). Factores de cambio y estado de la biodiversidad en *Capital natural de México*, 2, 37-73 págs.
- CONABIO. (2017), La Diversidad Biológica de México. Consultado en línea en agosto 30 de 2017 en: <https://goo.gl/oY41FE>
- CONAGUA, (2006). *Programa Nacional Hidráulico 2001-2006*. CNA. México, 2001.
- CONANP, (2013). *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Volcán Tacaná*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. Consultado en línea en: <https://goo.gl/35Gpzf>

- , (2015). *Resolución sobre las cifras oficiales correspondientes a las superficies de las Áreas Naturales Protegidas de competencia federal en México*. México. Consultado en línea en: <https://goo.gl/CM64RF>
- , (2016). *Programa de Conservación de Maíz Criollo en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. Consultado en línea en: <https://goo.gl/iyLdKU>
- , (2016). *Términos de Referencia para la Elaboración de Programas de Manejo de las Áreas Naturales Protegidas Competencia de la Federación*. Consultado en línea en: <https://goo.gl/Ls9vje>
- , (2017). *Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2014-2018*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. Consultado en línea en: <https://goo.gl/t6x7eX>
- CONEVAL, (2015). Informe de la Evaluación Específica de Desempeño 2014-2015 en *Programa Nacional Forestal Pago Por Servicios Ambientales*.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M. y Hannon, B. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital en *Nature*; 387: 253- 260 págs.
- Cracknell, M., y Reading, A. (2014). Geological mapping using remote sensing data: A comparison of five machine learning algorithms, their response to variations in the spatial distribution of training data and the use of explicit spatial information en *Computers & Geosciences*, 63, 22-33 págs.
- Daily, G. (1997). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, DC: Island Press.
- Díaz-Pacheco, J., y Hewitt, R. (2014). Modelado de cambios de usos de suelo urbano a través de redes neuronales artificiales. Comparación welcon dos aplicaciones de software. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (14), 1-22 págs.
- DeLong, Jr. (1996) Defining Biodiversity. *Wildlife Society Bulletin*, Vol. 24, No. 4. 738 pp.
- de Groot, R., Wilson, M. y Boumans, R. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services en *Ecological Economics*. 41:393–408 págs.
- del Valle, J. (2017). *Introducción a las Cadenas o Procesos de Markov*. Consultado en línea en octubre 15 de 2017 en: <https://goo.gl/dUxb9P>
- Eastman, J. (2012). *IDRISI Selva manual*. Worcester: Clark Labs.

- Espinoza-Mendoza, V. (2016). Dinámica EGO: una herramienta gratuita para modelar y brindar soporte en el análisis de CCUS en *Boletín del Colegio de Geógrafos del Perú*, V. 3.
- Fernández, M. E., Avila, A. P., y Taylor, H. P. (2007). *SIG-P y experiencias de cartografía social en la ciudad de Bogotá (Colombia)*. Bogotá: UPZ Los Libertadores.
- Fisher, B. y Turner, K. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making en *Ecological Economics*.
- Fried, J., Winter, G. y Gilless, J. (1999). *Assessing the benefits of reducing fire risk in the wildland-urban interface: a contingent valuation approach*. *Int. J. Wildland Fire* 9 (1): 9-20
- Gaston K., y Spicer J. (1998) *Biodiversity. An Introduction*. Blackwell Science. Malden, EEUU. 1-39 págs.
- Guevara, A. (2005). Política ambiental en México: génesis, desarrollo y perspectivas en *Información Comercial Española -Monthly Edition-*, 821, 163 pp.
- Habegger, S.; Serrano, E. y Mancila, I. (2006) El poder de la cartografía del territorio en las prácticas contrahegemónicas en *Quaderns d'Educació Contínua* 15, Valencia, España.
- Hilera González; R. y Martínez Hernando, A. (2000). Redes Neuronales Artificiales: Fundamentos, modelos y aplicaciones en *Ra-ma*, Madrid.
- Huang, X. y Jensen, J. (1997). A machine-learning approach to automated knowledge-base building for remote sensing image analysis with GIS data en *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 63(10), 1185-1193 págs.
- INEGI, (2010). *Marco geoestadístico 2010 versión 5.0 (Censo de Población y Vivienda 2010)*. Consultado en línea en noviembre 21 de 2017 en: <https://goo.gl/wPqz19>
- , (2010). *Compendio de criterios y especificaciones técnicas para la generación de datos e información de carácter fundamental*. Consultado en línea en noviembre 21 de 2017 en: <https://goo.gl/nt672o>
- , (2013). *Conociendo Chiapas*. Consultado en línea en octubre 10 de 2017 en: <https://goo.gl/q2K6iu>
- , (2014). *Guía para la Interpretación de Cartografía: uso de suelo y vegetación*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. Consultado en línea en enero 05 de 2017 en: <https://goo.gl/oRhWAv>
- , (2015). *Sistema de Cuencas Económicas y Ecológicas de México*, Consultado en línea en noviembre 10 de 2017 en: <https://goo.gl/hcvzkC>

- Izaurieta, F., y Saavedra, C. (2000). *Redes neuronales artificiales*. Departamento de Física, Universidad de Concepción Chile.
- Jiménez-Sierra, C., y del Río, P. (2010). Biodiversidad en *Curso para Maestros de Educación Primaria*. UAM-I.
- Kanevski, M., Pozdnoukhov, A., y Timonin, V. (2009). *Machine learning for spatial environmental data: theory, Applications and Software*. CRC Press, Boca Raton, USA 368 pp.
- Kennedy, H. (2000). *The ESRI Press dictionary of GIS terminology*. ESRI Press.
- Lary, D., Alavi, A., Gandomi, A., y Walker, A. (2016). Machine learning in geosciences and remote sensing en *Geoscience Frontiers*, 7(1), 3-10 págs.
- Leemans, R. (1999). Modelling for species and habitats: new opportunities for problem solving. *The Science of the Total Environment* 240: 51-73.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* (1997). Capítulo I. Consultado en línea en octubre 03 de 2017 en: <https://goo.gl/KPgrHi>
- Llano, M., y Fernández, H., (2017). *Análisis y propuestas para la conservación de la biodiversidad en México 1995-2017*. Ciudad de México, 120 pp.
- Llorente-Bousquets, J. y Ocegueda, S. (2008). *Capital Natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*, CONABIO, México.
- Loa E., Cervantes M., Durand L., y Peña A. (1998). Uso de la biodiversidad en *La diversidad biológica de México: Estudio de país*. CONABIO. México. 104 pp.
- Mas, J. F., Puig, H., Palacio, J. L., y Sosa-López, A. (2004). Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks en *Environmental Modelling & Software*, 19(5), 461-471 págs.
- Mas, J. F., y Flamenco-Sandoval, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México en *GeoTrópico*, 5(1), 1-24 págs.
- Melgar, B. (2016). *Proposición con Punto de Acuerdo Relativo al Área Natural Protegida "La Frailesca" en el Estado de Chiapas*. Consultado en línea en noviembre 22 de 2017 en: <https://goo.gl/xMnohK>
- Miceli, C., y Reyes, F. (2014). *Biodiversidad y sustentabilidad Volumen II: Investigaciones sobre la biodiversidad para el desarrollo social*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: UNICACH.
- Millennium Ecosystem Assessment (2003), *Ecosystem and Human Well-Being: A Framework for Assesment*. Washington, DC: Island Press.

- Muradian, R., E. Corbera, U. Pascual, N. Kosoy, y P. M. (2010). Reconciling theory and practice: an alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services en *Ecological Economics*, vol. 65. 712 – 724 págs.
- Morales, C.E. (2008). *El Tributo en la Política Ambiental en México* (Tesis de Maestría) Facultad de Derecho, Universidad Nacional Autónoma de México, 298 pp.
- Moreno, T. y García, A. (2012). Cambio de uso de suelo y captura de carbono en la Sierra Madre Oriental en *Biodiversidad y Desarrollo Rural en la Sierra Madre Oriental de Nuevo León*, Instituto Nacional de Desarrollo Social. 67-105 págs.
- Nogués, D. (2003) El estudio de la distribución espacial de la biodiversidad en *Conceptos y métodos*. Instituto Pirenaico de Ecología, España. 67-82 págs.
- Noriega, L. (2005). *Multilayer perceptron tutorial*. School of Computing. Staffordshire University.
- Núñez, I., González, E., y Barahona, A. (2003). La biodiversidad: historia y contexto de un concepto en *Interciencia*, 28(7).
- Ordoñez R. y Medina F., (2017). *Modelo de Calidad de Hábitat y Corredores para la Evaluación y Mapeo de Servicios Ecosistémicos en el Complejo Sierra Madre de Chiapas* (Tesis de Licenciatura) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. 168 pp.
- Ortega, J., Darío, R., y Sbarato, V. (2009). *Políticas e instrumentos ambientales* (No. 504.06). Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional San Francisco.
- Paegelow, M., Camacho Olmedo, M., y Menor Toribio, J. (2003). *Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje*.
- Perevochtchikova, M., Tamayo, O., y Milena, A. (2012). Avances y limitantes del programa de pago de servicios ambientales hidrológicos en México, 2003-2009 en *Revista mexicana de ciencias forestales*, 3(10), 89-112 págs.
- Pérez, J. (2010). La política ambiental en México: Gestión e instrumentos económicos en *El Cotidiano*, (162).
- Pijanowski, B. C., Brown, D. G., Shellito, B. A., y Manik, G. A. (2002). Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model en *Computers, environment and urban systems*, 26(6), 553-575 págs.
- Pronatura Sur. (2013). *Regiones de Trabajo*. Pronatura Sur, A.C. Consultado en línea en agosto 29 de 2017 en: <https://goo.gl/mA9KoD>

- Quintana, V. (2000). *Lineamientos de Derecho Ambiental Mexicano*. Porrúa, México. 100-102 págs.
- Rivera, H (2001). Aplicación de la Evaluación Multicriterio para la Asignación de Funciones al Territorio de la Reserva Nacional Valdivia en *Proyecto Manejo Sustentable del Bosque Nativo* (Conaf / Gtz). Consultado en línea en: <https://goo.gl/vRBucP>
- Rumelhart, D., Hinton, G., y Williams, R. (1986). Learning internal representations by back-propagating errors en *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. Eds. Cambridge, MA: MIT Press, vol. 1
- Rzedowski, J., y Huerta, L. (1978). *Vegetación de México* (Vol. 432). México: Limusa.
- Sanginés, A. (2005). Política ambiental en México: génesis, desarrollo y perspectivas en *INFORMACION COMERCIAL ESPAÑOLA-MONTHLY EDITION*, 821.
- Santillas et al. (2007). Ganadería, Desarrollo y Ambiente: *Una Visión para Chiapas*. Colegio de la Frontera Sur, México. Consultado en línea en noviembre 21 de 2017 en: <https://goo.gl/8rsSme>
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., y Anta, S. (2009). Capital natural de México. *Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Secretaría de Hacienda, (2011) *Plan de Desarrollo Chiapas Solidario 2007-2011*, Tuxtla Gutiérrez. Consultado en línea en enero 8 de enero de 2018, en: <https://goo.gl/56MxLZ>
- Serrano, A., Soria, E., y Martin, J. (2009). *Redes neuronales artificiales*. Universidad de Valencia (Escuela Técnica Superior Ingeniería, Departamento de Ingeniería Electrónica): Valencia, España.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2017) *Cierre de la Producción Pecuaria por Estado*. Consultado en línea en enero 10 de 2018 en: <https://goo.gl/6ciNHu>
- Siegel, S., Villalobos, J., Ruseil, L., y Cruz-López, R. (1972). *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta*, México.
- Soares-Filho, B., Rodrigues, H., y Costa, W. (2009). *Modelamiento de dinámica ambiental con Dinamica EGO*. Giudice, R. trad. Belo Horizonte, Brazil, Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais. 119 pág.
- Surowiecki, J., (2005). *The Wisdom of Crowds*. Anchor, New York.
- The Economics of Ecosystems & Biodiversity (2017). *Ecosystem Services*. Consultado en línea en septiembre 04 de 2017 en: <https://goo.gl/rTfg49>

- Tu, J. V., (1996). Advantages and disadvantages of using artificial neural networks versus logistic regression for predicting medical outcomes en *Journal of clinical epidemiology*, 49(11), 1225-1231 págs.
- U.S. Environmental Protection Agency (2004). *Ecological benefits assessment strategic plan*. Washington. DC: SAB Review Draft.
- Vidal-Rodríguez, R., Alba-López, M., y Contreras-Muro, C. (2014). *Hacia una Estrategia Regional para la Conservación de la Biodiversidad en la Sierra Madre de Chiapas*. Pronatura A.C., Chiapas, México. Consultado en octubre 15 de 2017 en: <https://goo.gl/byssYP>

ANEXO 1: LAND CHANGE MODELER

Land Change Modeler es una herramienta integrada en el software de *Terrset*, la cual permite evaluar y predecir cambios en el uso de suelo y la pérdida de la biodiversidad. Así mismo permite generar modelos empíricos relacionando variables explicativas de cambio para la generación de escenarios futuros de uso de suelo.

A continuación, se presenta el formato y procesamiento de la información de manera adecuada para ser ingresada en el modelo de Land Change Modeler (LCM).

Características y formato

Para los escenarios de uso de suelo y vegetación, las características principales que debe contener exactamente el mismo formato entre ambos:

La cuadrícula deberá contener la misma extensión de la zona de estudio, esto mediante el mismo número columnas y filas, así como el tamaño de pixel deberá ser el mismo.

Para el formato de las series de uso de suelo, deben de estar en archivo ráster de Terrset (*.rst), con su respectiva clasificación para cada categoría. *Reclasificar* se logra mediante el metadato, en el apartado de *categories*:

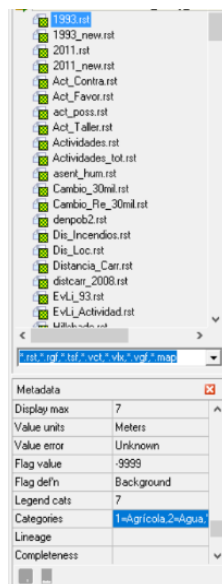
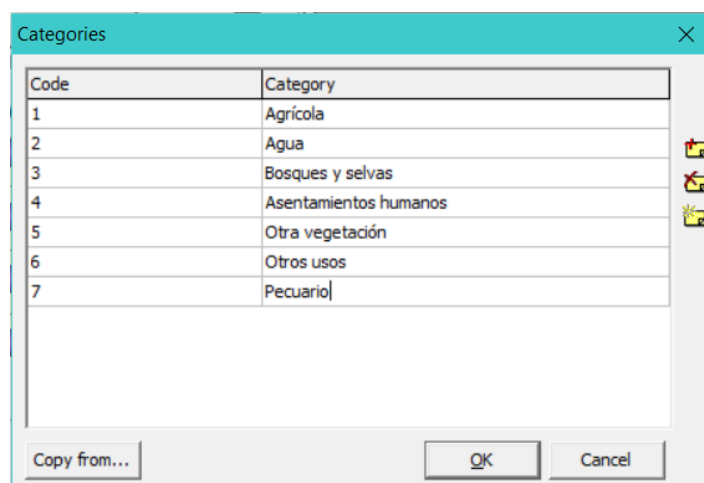


Figura a: Conversión de valor número a categórico.

El comando *categories* es modificado y convertido del formato numérico a texto. Es importante recordar que ambas series deberán estar escritas de manera idéntica, es decir utilizar las mayúsculas y acentos en ambos:



Code	Category
1	Agrícola
2	Agua
3	Bosques y selvas
4	Asentamientos humanos
5	Otra vegetación
6	Otros usos
7	Pecuario

Figura b. Tabla de categorías de Uso de Suelo y Vegetación en LCM, Terrset (Elaboración propia)

Las variables explicativas son las que serán tomadas como las categorías de cambio.

Procesamiento

Antes de empezar a trabajar, se debe agregar un nuevo proyecto específicamente en la carpeta en donde se encuentran todas las capas con las que se trabajarán sin ninguna excepción.

Para el primer paso, se agregan las dos temporalidades. También da la opción de agregar una capa de caminos y un modelo de elevación.

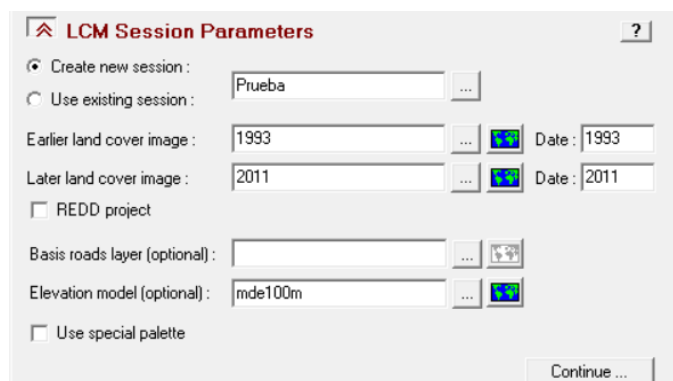


Figura c. Parámetros principales de LCM.

Para el segundo paso, se debe ya conocer el objetivo del modelo prospectivo, es decir, saber qué tipo de cambios se evaluarán dentro del modelo.

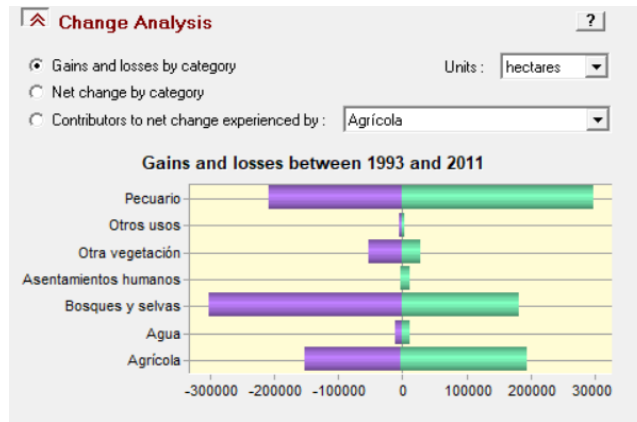


Figura d. Tasa de cambios.

Como se observa en la figura d, a partir de los parámetros iniciales se obtuvo la tasa de cambios en la temporalidad de 1993-2011.

Para ello, se puede crear un mapa de cambios de acuerdo con el objetivo, es decir, se pueden elegir múltiples opciones para evaluar, como la persistencia de las clases, pérdidas y ganancias en cierta clase; transición de clases, intercambios entre clases, etcétera.

The screenshot shows the 'Change Maps' window with the following settings: 'Map changes' is selected, 'Ignore transitions less than' is set to '30000' 'hectares', 'Map gains / losses in' is set to 'Agua', 'Map the transition from' is set to 'Agrícola' and 'to' is set to 'Agua', 'Exchanges between' is set to 'Agua' and 'Agua', and 'Output name (optional)' is set to 'Mapa_prueba'. The 'Create Map' button is visible.

Figura e. Generación de mapa de cambios.

Se selecciona alguna de las opciones, se asigna nombre, ruta de salida y clic en *Create Map*.

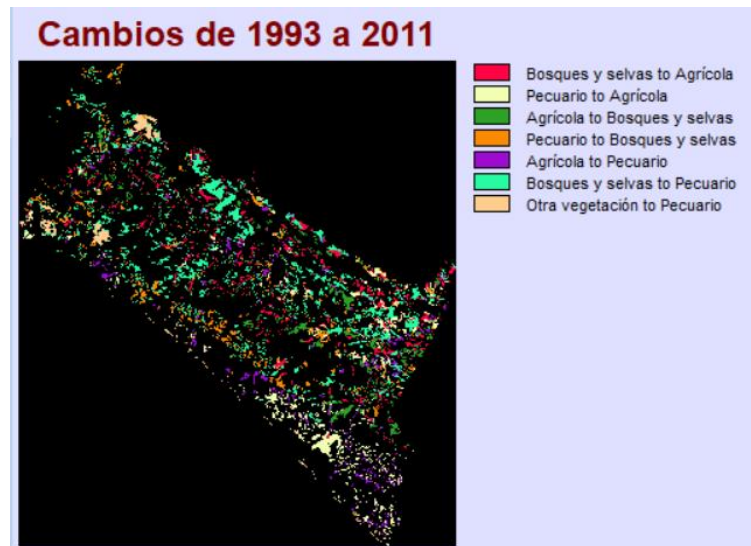


Figura f. Mapa de cambios.

Con el mapa de cambios generado, vamos a la pestaña de *Transiciones potenciales*, en donde se seleccionará el submodelo a evaluar. En este caso, en la casilla de *SubModelo Name* se le cambia el nombre para poder realizar la evaluación en conjunto.

Change Analysis | Transition Potentials | Change Prediction | Planning | REDD Project

Transition Sub-Models : Status ?

	From :	To :	Sub-Model Name :
Yes	Agrícola	Bosques y selvas	Modelo 1
Yes	Agrícola	Pecuario	Modelo 1
Yes	Bosques y selvas	Agrícola	Modelo 1
Yes	Bosques y selvas	Pecuario	Modelo 1
Yes	Otra vegetación	Pecuario	Modelo 1

To group sub-models, give them a common name

Sub-Model to be evaluated :

Figura g. Evaluación de submodelos.

Sobre la misma pestaña, se seleccionan los agentes de cambio. Estos agentes deben de tener el mismo formato que las series de uso de suelo: mismo número columnas y renglones, en coordenadas métricas y pueden presentarse en valores reales o enteros.

Para este ejercicio se evaluaron ocho agentes de cambio. Asimismo, se obtiene la correlación que guarda cada capa con la cobertura de uso de suelo a través del Coeficiente de Cramer.

Test and Selection of Site and Driver Variables

Evaluate: slope

Cover Class:	Cramer's V:	P Value:
Overall V	0.2513	0.0000
Asentamientos hun	0.6089	0.0000
Agua	0.2732	0.0000
Otros usos	0.2583	0.0000
Bosques y selvas	0.2412	0.0000
Ultra vegetación	0.0875	0.0000
Pecuario	0.0342	0.0000

Transition Sub-Model Structure

Sub-Model being evaluated: Modelo 1

Variable:	Role:	Basis layer type:	Operation:
EvLI_93	Static		
mde100m_2	Static		
slope	Static		
Dis_Loc	Dynamic	Land cover	Distance
Distancia_Carr	Dynamic	Roads	Distance

Number of files: 8

Figura h. Evaluación de agentes de cambio.

En el siguiente apartado, se genera la transición del submodelo a evaluar, el cual lleva por nombre *Modelo 1*. Esto se puede realizar a través de tres diversas metodologías: Redes Neuronales Multicapa Perceptrón, Regresión Logística y *SimWeight*, una modificación de máquinas de aprendizaje.

Los parámetros de muestra, entrenamiento y prueba se generan de manera automática conforme el modelo se ejecuta:

Run Transition Sub-Model

☒ MLP Neural Network ☐ SimWeight ☐ Logistic Regression

Minimum cells that transitioned from 1993 to 2011: 36703

Minimum cells that persisted from 1993 to 2011: 85852

Sample size per class: 10000 (50% training / 50% testing)

MLP neural network parameters

Training parameters

☒ Use automatic training

☒ Use dynamic learning rate

Start learning rate: 0.01

End learning rate: 0.001

Momentum factor: 0.5

Sigmoid constant a: 1.0

Hidden layer nodes: 11

Stopping criteria

RMS: 0.01

Iterations: 10000

Accuracy rate: 100 %

Error monitoring

— Training RMS — Testing RMS

Running statistics

Iterations: 0 Learning rate: 0.01

Training RMS: 1.00 Testing RMS: 1.00

Accuracy rate: 0.00% Skill measure: 0.5

Figura i. Generación de submodelo.

Generado el submodelo, se crean las transiciones potenciales. De manera inmediata, se despliegan dichas transiciones indicando los lugares donde, de acuerdo con el

modelo generado, se encuentran las áreas con mayor probabilidad al cambio de acuerdo con los agentes de cambio.

En la pestaña de *Predicción de cambio*, en el apartado de Demanda de Modelación de Cambio, se ajusta el año al cual será generado el modelo prospectivo. En este caso, fue a 2039 y se genera la matriz de cambio.

En el siguiente apartado de *Asignación de Cambio* se le da clic a *Run Model*, y se obtiene el escenario requerido.

Change Analysis | Transition Potentials | Change Prediction | Planning | REDD Project

Change Demand Modeling ?

☒ Markov Chain Prediction Date : 2039 View / edit matrix

☐ External Model

Dynamic Road Development

Change Allocation ?

Optional Components:

☐ Dynamic Road Development

☐ Apply Infrastructure Changes

☐ Zoning - Constraints/Incentives

Prediction Date : 2039

Recalculation stages : 1

☐ Create AVI video Frame Rate (sec) : 0.5

☒ Create soft prediction

Soft prediction

Aggregation type : ☐ Maximum ☒ Logical OR

From :	To :	Include :
Agrícola	Bosques y selvas	Yes
Agrícola	Pecuario	Yes
Bosques y selvas	Agrícola	Yes

Include all Include none

☐ Display intermediate stage images

Run Model Output Name : ...

Validation

Figura j. Elaboración de modelo prospectivo.