



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN GEOGRAFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL
MANEJO INTEGRADO DEL PAISAJE

UNIDADES AMBIENTALES Y DINÁMICA DE CAMBIO EN CUBIERTAS DEL
SUELO. PROPUESTA DE GEOPORTAL PARA LA RESERVA DE LA BIOSFERA
MARIPOSA MONARCA

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN GEOGRAFÍA CON ORIENTACIÓN EN
MANEJO INTEGRADO DEL PAISAJE

PRESENTA:
IGNACIO PANIAGUA RUIZ

DIRECTORES DE TESIS: DRA. MARÍA ISABEL RAMÍREZ RAMÍREZ
MTI. HUGO ALEJANDRO ZAVALA VACA

MÉXICO, D. F. DICIEMBRE 2013

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de ser parte del programa de posgrado en geografía.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación de Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la Universidad Nacional Autónoma de México, bajo el convenio IN301411, por el financiamiento al proyecto “Investigación ambiental de largo plazo: el cambio en el uso de suelo en la región mariposa monarca”, del cual es parte mi trabajo.

A mis directores de tesis la Dra. María Isabel Ramírez Ramírez por compartir sus conocimientos, por ser mi guía, por su impulso y toda la confianza que me ha mostrado; y el MTI. Hugo Alejandro Zavala Vaca, por todo su apoyo para el desarrollo de este trabajo.

A mi equipo sínodo Dra. Yan Gao, Dr. Adrián Ghilardi y Mtro. Ivan Franch Pardo, por el gran esfuerzo que implicó la revisión de este trabajo.

A Alma Rosa Rodríguez García y María de Lourdes Jiménez Medrano, quienes formaron parte del equipo de especialistas informáticos del MTI. Hugo Alejandro Zavala Vaca, y apoyaron en la instalación, desarrollo y manipulación de las aplicaciones web del Geoportal <http://geommm.ciga.unam.mx/drupal>.

A todo el personal académico y administrativo del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México, quienes siempre estuvieron en la mejor disposición para ayudarme tanto en asuntos académicos como administrativos. Reconociendo el esfuerzo de todos, quiero agradecer en especial al Dr. Manuel Bollo Manet.

A mis compañeros y amigos de generación (y de otras generaciones), tuve la gran fortuna de compartir el espacio y la aventura con un muy buen equipo.

Al Biol. Jorge Carranza Sánchez quien me brindó la oportunidad y todo su apoyo para incorporarme al programa de maestría, sin su ayuda esto no habría sido posible.

Al equipo de la Subdirección encargada de la Coordinación de Geomática de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, por todo su apoyo, respaldo y complicidad, sin ellos esto sería imposible, todo mi reconocimiento y agradecimiento.

A Paola, por todo.

A mis padres y hermanos.

A mis amigos.

Y a quien se anime a leer mi trabajo.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	7
<i>Estudio del paisaje</i>	7
<i>Delimitación de las unidades del paisaje</i>	8
<i>Áreas naturales protegidas</i>	9
<i>Dinámica y estado de conservación de las cubiertas del suelo</i>	12
<i>Información espacial en Geoportales</i>	14
Planteamiento del problema	18
Objetivos	20
2. MATERIALES Y MÉTODOS	22
Área de Estudio	22
Materiales	23
Métodos	24
<i>Delimitación de unidades ambientales de cerro Altamirano</i>	24
<i>Cubiertas del suelo</i>	27
<i>Análisis de dinámica de cambio y grado de conservación</i>	31
<i>Geoportal</i>	33
3. RESULTADOS	37
Unidades Ambientales	37
Cubiertas del suelo en la RBMM	39
<i>Estado de conservación RBMM</i>	47
<i>Geoportal RBMM</i>	50
4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	55
Bibliografía	61
Anexo	66
Cubiertas del suelo en unidades ambientales	66
Laderas muy incididas	66
Laderas escasamente incididas	69
Domos volcánicos	71
Piedemonte de flujos piroclásticos	73
Piedemonte coluvio-deluvial	75
Interfluvio cumbral	77

Índice de figuras

FIGURA 2.1 UBICACIÓN DE LA RBMM	22
FIGURA 2.2 ELEMENTOS FUNDAMENTALES DEL PAISAJE	24
FIGURA 2.3 ESQUEMA GENERAL DEL MÉTODO PARA DETERMINAR UNIDADES DEL PAISAJE Y UNIDADES AMBIENTALES	25
FIGURA 2.4 ESQUEMA DE MÉTODO HÍBRIDO PARA ANÁLISIS DE DINÁMICA DE CAMBIO DE LAS CUBIERTAS DEL SUELO	28
FIGURA 2.5 MATRIZ DE TRANSICIÓN	32
FIGURA 2.6 DIAGRAMA DE PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN	32
FIGURA 2.7 ARQUITECTURA DE INSTALACIÓN DE APLICACIONES	35
FIGURA 3.1 UNIDADES AMBIENTALES RBMM	37
FIGURA 3.2 PORCENTAJE POR UNIDAD AMBIENTAL EN LA RBMM	38
FIGURA 3.3 TT Y SUPERFICIE TRANSFORMADA POR PERIODO	40
FIGURA 3.4 PROCESOS DE CAMBIO RBMM	42
FIGURA 3.5 CUBIERTAS DEL SUELO DE LA RBMM	43
FIGURA 3.6 PROCESOS DE CAMBIO POR UNIDAD AMBIENTAL 2001-2012	45
FIGURA 3.7 PROCESOS DE CAMBIO POR ZONA NÚCLEO DE AMORTIGUAMIENTO	45
FIGURA 3.8 PROCESOS DE CAMBIO 2001-2012	46
FIGURA 3.9 SUPERFICIE DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN FORESTAL POR UNIDAD AMBIENTAL	48
FIGURA 3.10 ESTADO DE CONSERVACIÓN FORESTAL EN LA RBMM	49
FIGURA 3.11 INTERFAZ DE GEOPORTA CON DRUPALL	50
FIGURA 3.12 ARQUITECTURA DE GEOPORTAL	51
FIGURA 3.13 INTERFAZ DEL USUARIO MAPGUIDE	52
FIGURA 3.14 SERVICIO DE MAPAS NATMAPS	54

Índice de tablas

TABLA 1.1 DENOMINACIÓN A UNIDADES DEL PAISAJE ELEMENTALES	9
TABLA 1.2 ZONIFICACIÓN VIGENTE DE LA RBMM	10
TABLA 1.3 TABLA COMPARATIVA DE SOFTWARE OPEN SOURCE	18
TABLA 2.1 IMÁGENES DE SATÉLITE LANDSAT ETM+ Y SPOT5	23
TABLA 2.2 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE LA RBMM	26
TABLA 2.3 PARÁMETROS CARTOGRÁFICOS	28
TABLA 2.4 LEYENDA DE LAS CUBIERTAS DEL SUELO	29
TABLA 2.5 PROCESOS DE CAMBIO Y GRADOS DE CONSERVACIÓN	33
TABLA 3.1 SUPERFICIE POR UNIDAD AMBIENTAL EN LA RBMM	38
TABLA 3.2 SUPERFICIE DE LAS CUBIERTAS DEL SUELO RBMM	39
TABLA 3.3 TASA DE TRANSFORMACIÓN RBMM	40
TABLA 3.4 MATRIZ DE TRANSICIÓN 2001-2012 RBMM	41
TABLA 3.5 MATRIZ DE DINÁMICA DE CAMBIO 2001-2012 RBMM	41
TABLA 3.6 PROCESOS DE CAMBIO POR PERIODO RBMM	42
TABLA 3.7 PROCESOS DE CAMBIO 2001-2012 EN SUBZONAS DEL PCM	44
TABLA 3.8 PROCESOS DE CAMBIO POR UNIDAD AMBIENTAL 2001-2012	44
TABLA 3.9 PROCESOS DE CAMBIO 2001-2012 POR UNIDAD AMBIENTAL Y ZONIFICACIÓN	47
TABLA 3.10 ESTADO DE CONSERVACIÓN FORESTAL POR UNIDAD AMBIENTAL	48
TABLA 3.11 HERRAMIENTAS BÁSICAS DE MAPGUIDE	53

RESUMEN

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) constituyen una de las estrategias de política ambiental para conservar la diversidad biológica fomentando el uso sustentable de los recursos naturales. Para medir los procesos de conservación, el análisis de la dinámica espacio temporal de las cubiertas del suelo es una de las variables principales para evaluar la integridad ecológica, debido al impacto global y a su relación con otros elementos de deterioro (Turner et al. 2007).

La comparación de los cambios de las cubiertas del suelo de acuerdo a límites político-administrativos no necesariamente considera la integridad en el funcionamiento ecológico. El análisis basado en la regionalización ecológica del territorio (unidades del paisaje) es una herramienta más robusta para evaluar el estado del ambiente y para planificar el aprovechamiento de los recursos naturales a varias escalas, es decir, puede ser un insumo clave en el manejo y gestión del territorio (Mateo 2002, Priego 2004, Bollo y Hernández 2008, Mendoza et al. 2010, Bocco et al. 2010).

La producción, integración y análisis de información espacial es un proceso de generación de conocimiento que sirve como base para la planificación, negociación y toma de decisiones sobre el territorio. Por lo cual, solo tendrá éxito si la información se transmite efectivamente entre los actores involucrados y si se comparte igualmente garantizando transparencia y confiabilidad. La disponibilidad de información espacial por medio de un Geoportal web garantizará el acceso a la información generada por todos aquellos interesados tanto en la evaluación como en la toma de decisiones.

En este trabajo se hizo el análisis de la dinámica de cambio en cubiertas del suelo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca tomando como base espacial los polígonos del ANP, la zonificación y subzonificación del programa de manejo vigente (DOF 2001) y las unidades ambientales determinadas con un enfoque del paisaje (Ramírez 2001b, Altamirano 2009). Los resultados muestran que en el periodo general 2001-2012 hubo una acelerada pérdida forestal principalmente en la unidad "Laderas muy incididas" dentro de zonas núcleo.

Para la difusión de resultados se diseñó una plataforma organizativa y de comunicación que permite poner a disposición del público un catálogo de datos espaciales generados. Para ello se desarrolló un Geoportal web mediante el uso de *software* gratuito de código abierto: *MapGuide Open Source* para la gestión de información espacial y *Drupal* para la publicación de datos y gestión de contenidos.

En el primer capítulo se presenta una introducción en la que se mencionan los antecedentes en los instrumentos de política ambiental, estudios del paisaje, análisis de las cubiertas del suelo y difusión de información espacial por medio de Geoportales. Se incluye un apartado con el planteamiento del problema, las preguntas de investigación y los objetivos del proyecto.

En el segundo capítulo se explican los insumos y métodos que se emplearon para la generación de datos.

El tercer capítulo describe los resultados que ayudaron a dar respuesta a las preguntas de investigación.

El cuarto capítulo contiene las discusiones con los resultados previos de otros autores y las conclusiones del proyecto.

Se incluye una sección ANEXA la cual contiene las tablas y gráficos de los datos de cambio en las cubiertas del suelo de acuerdo a los límites de las unidades ambientales del área.

1. INTRODUCCIÓN

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) considera a las áreas protegidas como el principal instrumento para la conservación de la biodiversidad natural y cultural, promoviendo actividades económicas para el desarrollo sostenible de comunidades locales. La UICN define a las áreas naturales protegidas (ANP) como un espacio geográfico claramente definido, reconocido, dedicado y gestionado, mediante medios legales u otros tipos de medios eficaces para conseguir la conservación a largo plazo de la naturaleza y de sus servicios ecosistémicos y sus valores culturales asociados (Dudley 2008).

En México las ANP constituyen una de las estrategias de la política ambiental para frenar los procesos de deterioro, conservar la diversidad biológica y fomentar el uso sustentable de los recursos naturales (CONANP 2012). Para cubrir los objetivos de protección, preservación, aprovechamiento sustentable, investigación, etc., se diseñó el Programa de Conservación y Manejo (PCM) como instrumento rector de planeación y regulación por el cual se determinan las estrategias de conservación y uso de las ANP, estableciendo las actividades, acciones y lineamientos básicos para su manejo y administración (DOF 1988).

El 9 de abril de 1980 se decretaron como Zona de Reserva y Refugio de la Fauna Silvestre los lugares donde hiberna y se reproduce la mariposa monarca (DOF 1980). En 1986 se declaran cinco santuarios con 16,110 hectáreas en los límites de los estados de México y Michoacán como ANP para los fines de migración, invernación y reproducción de la mariposa monarca, así como la conservación de sus condiciones ambientales. Los cinco sitios designados como santuarios fueron: Cerro Altamirano, Sierra Chincua, Sierra el Campanario, cerros Chivatí-Huacal y Cerro Pelón (DOF 1986).

Posteriormente se presentó la necesidad de revisar este último decreto, el cual no protegía el hábitat de muchos de los sitios de hibernación de la mariposa monarca (Carranza 2012) además de que el deterioro de los recursos naturales continuaba, siendo la perturbación de los bosques la principal causa (Ramírez 2001a). Por lo anterior, se hizo un nuevo decreto donde se declara la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM)

con una superficie de 56,259 hectáreas (DOF 2000); y en enero del 2001 se publicó el PCM de la RBMM (DOF 2001).

La importancia de la región en un principio se debió al fenómeno del ciclo migratorio de millones de mariposas monarcas (*Danaus plexippus plexippus*) que vienen desde Canadá y Estados Unidos y llegan a las formaciones elevadas del Eje Neovolcánico Transversal. Debido a este fenómeno se han implementado distintos programas de inversión por parte de gobierno así como organizaciones no gubernamentales, con la intención de garantizar a largo plazo la protección del hábitat de la mariposa monarca (Carranza 2012, Vidal et al. 2013). Por mencionar algunas de las organizaciones: Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca, Fondo Mundial para la Naturaleza, Fundación Telcel, Fundación Carlos Slim, entre otros.

La eficacia de los instrumentos de política ambiental, ANP y PCM, está condicionada por una diversidad de fuerzas o factores causales y por el accionar de múltiples actores, quienes se interrelacionan e intervienen de manera directa e indirecta en el proceso del manejo de los recursos, ocasionando efectos tanto positivos como negativos con una magnitud variable (Aldana y Bosque 2008). Una gestión eficaz determina el éxito de la conservación de los atributos y valores de las ANP para el presente y el futuro (Giaccardi y Tagliorette 2007). Además, al demostrar que se alcanzan los objetivos para los cuales fue creada una ANP, se pueden reflejar también beneficios para las comunidades que la habitan, así como a la sociedad en general (Cracco et al. 2006).

La dinámica espacio temporal de las cubiertas del suelo es una de las variables principales para evaluar la integridad ecológica, debido al impacto global y a su relación con otros elementos de deterioro (Turner et al. 2007). Lo que significa que los cambios a escala local, presenten consecuencias que pueden tener manifestaciones globales. Una manera confiable para medir las modificaciones que ocurren sobre las cubiertas del suelo es por medio del estudio de la dinámica espacio temporal de la cubierta vegetal (Berry et al. 1996).

En México se han realizado evaluaciones para medir la efectividad de las ANP para la contención de procesos de cambio negativos en las cubiertas del suelo, básicamente comparando lo que sucede al interior del área protegida en relación con el exterior

próximo a sus límites (*buffer*) (Mas 2005, Figueroa y Sánchez-Cordero 2008, Figueroa et al. 2011).

La comparación de los cambios de las cubiertas del suelo de acuerdo a los límites administrativos de las ANP no necesariamente considera la integridad en el funcionamiento ecológico. Un análisis basado en la regionalización ecológica del territorio es una herramienta más robusta para evaluar el estado del ambiente y para planificar el aprovechamiento de los recursos naturales a varias escalas, es decir, puede ser un insumo clave en el manejo y gestión del territorio (Mateo 2002, Priego 2004, Bollo y Hernández 2008, Mendoza et al. 2010, Bocco et al. 2010).

La utilización del enfoque de paisaje en la regionalización ecológica enriquece el conocimiento sobre la distribución geográfica de los recursos naturales, su dinámica en el tiempo y la resistencia del ambiente a la intervención humana (Urquijo y Bocco 2011). También permite evaluar la aptitud productiva del territorio, la distribución geográfica de la biodiversidad, los riesgos ambientales y los conflictos potenciales entre la aptitud y el uso actual del suelo (Bocco et al. 2010).

Ramírez (2001b) presentó el análisis de espacios forestales de la RBMM en la porción correspondiente a La Sierra de Angangueo a partir de la delimitación de unidades ambientales, en apego a lo establecido en el método del análisis del paisaje integrado (geoecología) (García y Muñoz 2002).

Ramírez delimitó y caracterizó las unidades ambientales considerando como carácter dominante las formas del relieve y las cubiertas del suelo (Bertrand 1968, Bolós 1992, Smiet 1996, Ramírez 2001, Altamirano 2009, García y García 2013). Hizo una evaluación de la dinámica del paisaje y del estado de conservación de los espacios forestales que existían en ese momento.

Para determinar el estado de conservación de los espacios forestales, Ramírez (2001b) analizó la dinámica de cambio de las cubiertas del suelo con las cartas de uso de suelo y vegetación del INEGI de los años 1971 y 1994. Como resultado obtuvo que de 1971 a 1994 en el sistema territorial de Sierra de Angangueo la unidad ambiental de “laderas muy

incididas” es la de mayor proporción y se calculó una tasa de deforestación del 0.1% y una cubierta forestal con buen estado de conservación.

Las unidades ambientales de la porción conocida como el Complejo Volcánica Zitácuaro (CVZ) (Capra et al. 1997) ubicado al Sur de la RBMM en el conjunto montañoso cerro Pelón-Cacique, fueron delimitadas por Altamirano (2009) con el objetivo de conocer el potencial para acciones locales de conservación o manejo del territorio. Determinó el grado de conservación por unidad del paisaje elemental a partir del análisis de la dinámica de cambio de las cubiertas del suelo, con datos de 1986 y 2006 (Ramírez et al. 2007).

Los resultados de Altamirano muestran que las unidades de “Sierra” y “Domos Volcánicos” son los que tiene mayor superficie del CVZ tienen dentro de la RBMM. Las “Sierras” presentan una cubierta natural alrededor el 60% con un grado de conservación estable. Cerca del 35% de la unidad de “Sierra” tiene una cubierta natural perturbada con tendencia negativa; y el resto corresponde a actividades agropecuarias.

Para los “Domos Volcánicos” alrededor del 60% corresponde a cubiertas naturales con tendencias positivas, cerca del 25% son cubiertas forestales perturbadas con una tendencia negativa, por último el 15% corresponde a actividades agropecuarias (Altamirano 2009).

La regionalización ecológica de la RBMM hecha por Ramírez (2001b) y Altamirano (2009) cubre las porciones de Sierra de Angangueo y el CVZ, sin embargo falta la delimitación de las unidades ambientales Cerro Altamirano.

El interés por conocer las condiciones de las cubiertas forestales al interior de la RBMM ha ido en aumento. Distintas organizaciones no gubernamentales, como el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), dependencias de gobierno e instituciones de investigación (SEMARNAT, CONANP, UNAM) han hecho diversos estudios para conocer el impacto generado con los instrumentos de política ambiental.

Ramírez (2001a) actualizó el dato de las cubiertas del suelo para los años 1971-1994-2000 a partir de la interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite, y encontró que ha existido pérdida y perturbación de superficies forestales. Calculó una tasa anual de

deforestación de 0.2% que corresponde a áreas que han cambiado sus cubiertas de forestales a no forestales. Concluye que las áreas más perjudicadas se ubicaron al interior de los espacios protegidos (de acuerdo a los límites del área protegida de 1986).

Considerando ya los nuevos límites de la RBMM del 2000 Ramírez y Zubieta (2005) con base a la interpretación visual interdependiente en imágenes de satélite de los años 1993-2000-2003 reportaron una pérdida de bosques al interior de la RBMM de 1,108 hectáreas en el periodo 1993-2000, la cual aumentó a 1,483 hectáreas para 2000-2003.

(Ramírez et al. 2007) obtuvieron datos de las cubiertas del suelo de la RBMM con la interpretación de las imágenes de satélite LANDSAT TM (1986 y 1993), LANDSAT ETM+ (2000 y 2006) y ASTER (2006). Estos resultados indican la pérdida de 10,500 hectáreas de bosque denso en el periodo de 20 años, y concluyen que hasta ese momento los decretos de 1986 y del 2000 no habían conseguido frenar la degradación forestal de la RBMM.

Carranza (2012) analizó las cubiertas del suelo de las zonas núcleo de Sierra de Angangueo y el CVZ usando el análisis de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en imágenes SPOT5 de los años 2004-2006-2008-2010-2011. Los resultados muestran que en 2008-2010 se perturbaron (pérdida de bosque sin cambio del uso de suelo) más de 1,000 hectáreas por año y en 2010-2011 se perturbaron 1,741 hectáreas. Con respecto a la deforestación (pérdida de bosque por cambio de uso de suelo) registró el incremento máximo en el año 2011 con 498 hectáreas. Carranza concluye que durante el periodo 2004-2011 el bosque presenta un estado de estrés hídrico que genera la disminución de actividad fotosintética, aumentando la vulnerabilidad al ataque de plagas e incendios forestales.

Vidal et al. (2013) a partir de la fotointerpretación de fotografías aéreas digitales e interpretación de imágenes de satélite, reportan que en el periodo 2001-2012 al interior de las zonas núcleo de la RBMM se han perdido 2,179 hectáreas de cubierta forestal, de las cuales 1,254 ha por procesos de deforestación y 925 ha por perturbación. En el periodo 2005-2007 reportaron la tala de 731 hectáreas dentro de las zonas núcleo, siendo la etapa con mayor afectación. Sin embargo para el año 2012 el reporte por pérdida de

cubierta forestal es cero. Por último resaltan que de 2008 a 2011 se presentó una sequía extrema en el área, que muy probablemente generó pérdidas de bosques.

En este trabajo se presentan datos de las cubiertas del suelo para el periodo comprendido entre el 2001, año de publicación del PCM, al 2012 con periodos intermedios (2001-2004-2006-2008-2010-2012). Se hizo el análisis de la dinámica de cambio de las cubiertas del suelo de acuerdo a los límites administrativos de la RBMM (no sólo en zonas núcleo) y sobre las unidades ambientales creadas por Ramírez (2001) y Altamirano (2009) con las cuales se determinó como se ha modificado el estado de conservación de los espacios forestales dentro de la RBMM.

Los datos de las cubiertas del suelo de este proyecto se generaron a partir de un mismo insumo (imágenes SPOT5), lo que garantiza que la identificación de patrones será similar para cada fecha. Los datos se obtuvieron bajo el método híbrido que incluye el pre-procesamiento de imágenes de satélite, clasificaciones automatizadas apoyadas de interpretación visual, potencializando las virtudes y reduciendo las limitaciones que se presentan cuando se manejan la clasificación automatizada y la interpretación visual por separado (Chuvieco 1990, 2008; Paniagua 2009, Paniagua et al. 2011, Paniagua et al. 2013).

Por último, en el desarrollo de este trabajo la integración y análisis de la información espacial es un proceso de aprendizaje, y se pretende que sea considerada como base equitativa de planificación, negociación y toma de decisiones, lo cual sólo tendrá éxito si la información se transmite efectivamente a la mayoría de los actores involucrados, y si los conocimientos se comparten igualmente mejorando la transparencia y confiabilidad (Ehrensperger et al. 2007).

Hasta el momento no existe un servicio de mapas en línea para la RBMM. En este proyecto se diseñó un Geoportál *World Wide Web* (Web) como la plataforma estratégica organizativa y de comunicación que pone a disposición el catálogo de datos espaciales documentados en este trabajo. Son datos visibles y de libre acceso, con la intención de que puedan contribuir como herramienta en las tareas de gestión y monitoreo público del ANP.

Antecedentes

Estudio del paisaje

El paisaje como objeto de estudio de las ciencias ambientales es un tema ampliamente estudiado (Bocco et al. 2010), se ha discutido desde distintos enfoques resaltando las distintas particularidades, esto ha generado la evolución del concepto. En el ámbito de las ciencias ambientales se debe de entender el concepto de paisaje desde un punto de vista geográfico y sistémico (Ibarra 1993a), considerando que es resultado de las relaciones complejas entre el hombre y la naturaleza, con una proyección en lo que se conoce como geosistema (Bolós 1992, García y Muñoz 2002).

El geosistema es un modelo teórico del paisaje que está compuesto por tres subsistemas: 1) el abiótico, al cual corresponden los elementos no dotados de vida (litología, el aire y el agua); estos son considerados como la infraestructura básica del territorio, y son aprovechados como recursos por los elementos vivos; 2) el biótico, son los elementos dotados de vida (flora, fauna y el hombre como elemento vivo) que dinamizados por el potencial abiótico, conducen a procesos de adaptación, diseminación y competencia entre los organismos; 3) el antrópico, constituido por los artefactos necesarios para la vida económica y social (Bolós 1992, García y Muñoz 2002).

El paisaje es el resultado de la combinación de elementos físicos (morfoestructura, clima, relieve y agua), bióticos (suelo, vegetación y fauna), así como los factores antrópicos, los cuales son parte de la estructura funcional además de ser los principales modificadores (Bertrand 1968, Zonneveld 1995, García y Muñoz 2002). Por lo tanto, los paisajes son los sistemas complejos en que está organizada la superficie terrestre (Priego et al. 2008, Bollo y Hernández 2008), los cuales son influenciados por las fuerzas antrópicas (Campos y Priego 2011).

La dinámica del paisaje implica que cada uno de sus elementos estén en constante cambio, algunos generados por el intercambio en los flujos de energía, así como las modificaciones que se sufren por la intervención humana (Tricart y Kilian 1982). Con la interacción entre los elementos del paisaje se forma un conjunto de sistemas interrelacionados en el proceso en el intercambio de energía, generando la dinámica y

continua transformación, siendo la intervención humana la que genera las modificaciones más drásticas.

El subsistema que corresponde a los elementos físicos del territorio, describe la secuencia del conjunto roca-relieve-suelo, cuya tasa de cambio en el tiempo es baja o muy baja; y en contraste con el componente bioclimático y de uso de suelo, que se caracteriza por tener un gran dinamismo a varias escalas temporales (Bocco et al. 2010).

Delimitación de las unidades del paisaje

Para el estudio del paisaje integrado resulta fundamental el aporte de Smuts que en 1927 da a conocer la doctrina del holismo, según la cual el universo, y también sus partes constituyentes, tienen tendencia a originar unidades que forman un todo de complicación creciente. En ellas participan la materia inerte, la materia viva y la materia pensante (el hombre). Estas unidades globales no se reducen nunca a la suma de sus elementos constituyentes, puesto que estos aparecen dispuestos, interconectados, estructurados de una determinada manera (Bolós 1992).

La identificación de unidades del paisaje es una regionalización ecológica que consiste en la delimitación de espacios geográficos relativamente homogéneos en función del medio físico y biológico, de tal manera que se pueda establecer una adecuada vinculación con el uso y apropiación del territorio por parte de la sociedad. Esta delimitación es una herramienta de mucha utilidad para la evaluación del estado del ambiente y para la planificación del aprovechamiento de los recursos naturales (Bocco et al. 2010).

En las ciencias ambientales existen distintos enfoques para la delimitación y clasificación de unidades del paisaje. Estas unidades se generan a partir de una clasificación categórica y sistemática que permite estudiar las relaciones que se presenten en cada una de ellas (Zonneveld 1995). Dichas clasificaciones son sistemas jerárquicos taxonómicos, donde las formas del relieve juegan un papel dominante en la delimitación de las unidades del paisaje (Bocco et al. 1999, Tapia-Varela y López-Blanco 2002, López 2004, Priego et al. 2008, Mendoza et al. 2010, Bocco et al. 2010).

La delimitación de las unidades del paisaje depende de la escala de interpretación, la cual controla no sólo los tipos y distribución de los contenidos ambientales, sino las relaciones

de interdependencia entre ellos (García y García 2013). Por lo tanto, en áreas específicas los elementos ambientales (geomorfología, geología, suelos, vegetación y el clima) se interrelacionarán, resultando en patrones propios y distintivos (Bolós 1992, López 2004). Las unidades de origen macro-estructural definidas por la morfoestructura y los mesoclimas son las variables de amplio rango espacial y temporal, y definen la estructura más firme y estable del territorio (Bertrand 1968, García y Muñoz 2002, García y García 2013).

En las unidades de escalas más detalladas (1 y 100 km²) se localizan los paisajes elementales, que de acuerdo con Bertrand (1968) para la definición tipológica y espacial de estos paisajes se deben considerar los tres elementos fundamentales: formas del relieve, tipo de vegetación y uso del suelo (Bolós 1992, Smiet 1996, Ramírez 2001b, Altamirano 2009, García y García 2013). De tal manera se delimitan primero las unidades definidas por el componente morfoestructural que corresponden a las unidades del paisaje, y posteriormente por la combinación de la morfología y las cubiertas del suelo a las unidades ambientales (Ramírez 2001b).

Las coincidencias en las denominaciones a las unidades de paisaje elementales de acuerdo con distintos autores, se observa a continuación (Tabla 1.1):

Tabla 1.1 Denominación a unidades del paisaje elementales

Delimitación de unidades		Autor
Morfoestructurales	Morfológicas	
Cubiertas del suelo		
Escala V	Escala VI	Tricart y Callieux (1956) en Ramírez (2001b)
Geosistemas o Geocomplejos	Geofácies	Bertrand (1968)
Mesocora	Geocora	Bolós (1992)
Unidades del paisaje o naturales	Unidades ambientales	Troitíño (1998), Ramírez (2001b) (Ibarra 1993b)

Áreas naturales protegidas

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) es la autoridad mundial en materia de conservación de la naturaleza, y tiene como objetivo promover el desarrollo sostenible y la conservación de la biodiversidad (UICN 2008).

En México el organismo encargado de la promoción y gestión de ANP es la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). De acuerdo con el artículo 3º en la Fracción II de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) (DOF 1988), las ANP son "las zonas del territorio nacional y aquéllas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas...".

Los objetivos de creación de las ANP son: preservar los ambientes naturales representativos de las diferentes regiones biogeográficas y ecológicas, así como los ecosistemas frágiles, para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos; asegurar la preservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad en todos sus niveles de organización; proporcionar un campo propicio para la investigación científica, así como para el rescate y divulgación de conocimientos y prácticas tradicionales; desarrollar tecnologías que permitan conservar la biodiversidad; y proteger los entornos naturales de otras áreas de importancia cultural (DOF 2000).

El Programa de Conservación y Manejo (PCM) es el instrumento rector de planeación y regulación por el cual se determinan las estrategias de conservación y uso de las ANP. El PCM cuenta con una zonificación que ordena el territorio en función del grado de conservación y representatividad de sus ecosistemas, la vocación natural del terreno, de su uso actual y potencial de conformidad con los objetivos dispuestos en la misma declaratoria. Incluye una subzonificación que es el instrumento técnico y dinámico de planeación que se establecerá en el programa de manejo, y que es utilizado con el fin de ordenar detalladamente las zonas núcleo y de amortiguamiento (DOF 1988) (Tabla 1.2).

Tabla 1.2 Zonificación vigente de la RBMM

ZONAS NÚCLEO
Principales microcuencas en donde hiberna la mariposa Monarca. Se permiten las actividades de preservación de los ecosistemas y sus elementos a mediano y largo plazo, investigación, turismo de bajo impacto y educación ambiental.
En la reserva se consideran 3 zonas núcleo: al norte Cerro Altamirano; en el centro el corredor Chincua-Campanario-Chivati-Huacal y al sur Cerro Pelón. Están conformadas por las siguientes subzonas:
<i>Subzonas de protección:</i>
Áreas poco alteradas, y que contienen los hábitats que requiere la mariposa Monarca en su fase invernal, así como ecosistemas relevantes o frágiles que requieren de un cuidado especial para

asegurar su conservación a largo plazo. Solo se permitirá realizar actividades de monitoreo del ambiente, de investigación científica, de educación ambiental, de restauración ecológica y de supervisión y vigilancia que no implique la modificación de los hábitats.
<i>Subzonas de uso restringido:</i>
Áreas en buen estado de conservación donde se busca mantener las condiciones actuales de los ecosistemas e incluso mejorarlas en los sitios que así se requiera. Solo se permitirá la investigación científica y el monitoreo del ambiente, actividades de educación ambiental y turismo que no impliquen modificación de las características originales, construcción de instalaciones de apoyo para la investigación científica, monitoreo del ambiente, administración y operación de la Reserva, así como excepcionalmente la realización de actividades que no modifiquen los ecosistemas.
ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO
Tendrán como función principal orientar a que las actividades de aprovechamiento que ahí se lleven a cabo, se conduzcan hacia el desarrollo sustentable, creando al mismo tiempo las condiciones necesarias para lograr la conservación de los ecosistemas a largo plazo. Otras actividades que se pueden realizar son las educativas, de recreación, de investigación y de capacitación pero deben sujetarse a las disposiciones legales aplicables y los usos del suelo referidos en la matriz de zonificación, y están conformadas por las siguientes subzonas.
<i>Subzonas de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales:</i>
Actividades productivas bajo esquemas de aprovechamiento sustentable, siempre que estas acciones generen beneficios a los pobladores locales. Se permitirá la investigación científica; la educación ambiental y actividades turísticas. El aprovechamiento sustentable de la vida silvestre podrá llevarse a cabo e garantizando la reproducción controlada o se mantengan o incrementen las poblaciones de las especies aprovechadas y el hábitat del que dependen y se sustenten en los planes autorizados por la Secretaría, conforme a las disposiciones legales y reglamentarias aplicables.
<i>Subzonas de aprovechamiento sustentable de agroecosistemas:</i>
Áreas con fines agrícolas, pecuarios, agroforestales y silvopastoriles, en donde se promoverán técnicas de uso sustentable con la disminución del uso de agroquímicos e insumos externos para su realización. Actividades de agroforestería y silvopastoriles que sean compatibles con las acciones de conservación del área y que contribuyan al control de la erosión y eviten la degradación de los suelos.
<i>Subzonas de aprovechamiento especial:</i>
Se podrán ejecutar obras públicas o privadas para la instalación de infraestructura o explotación de recursos naturales que originen beneficios públicos que guarden armonía con el paisaje, que no provoquen desequilibrio ecológico grave y que estén sujetos a estrictas regulaciones de uso de los recursos naturales.
<i>Subzonas de uso público:</i>
Actividades recreativas, de esparcimiento y de educación ambiental de acuerdo con los límites que se determine con base en la capacidad de carga de los ecosistemas. En dichas subzonas se podrá llevar a cabo exclusivamente la construcción de instalaciones para el desarrollo de servicios de apoyo al turismo, a la investigación, monitoreo del ambiente y la educación ambiental congruentes con los propósitos de protección y manejo del área natural protegida.
<i>Subzona de asentamientos humanos:</i>
Desarrollo de asentamientos humanos, previos a la declaratoria del área protegida y de acuerdo a los planes de desarrollo municipales correspondientes.

La categoría de manejo Reserva de la Biosfera de acuerdo al artículo 48 de la LGEEPA, se constituyen en áreas biogeográficas relevantes a nivel nacional, representativas de uno o más ecosistemas no alterados significativamente por la acción del ser humano o que requieran ser preservados y restaurados, en los cuales habiten especies representativas de la biodiversidad nacional, incluyendo a las consideradas endémicas, amenazadas o en peligro de extinción (DOF 1988).

Desde la perspectiva del conservacionismo gubernamental con las reservas de la biosfera se buscaba superar las limitaciones de las figuras de conservación anteriores, como los parques nacionales, que se habían basado en la expropiación de tierras y que presentaban ya entonces dramáticos procesos de deterioro. En las reservas de la biosfera las comunidades mantienen formalmente los derechos de tenencia, aunque se expropiaron los derechos de uso de las tierras ubicadas en zonas núcleo y el control de las tierras pasa a la burocracia ambientalista (Merino 2004).

Dinámica y estado de conservación de las cubiertas del suelo

Uno de los primeros pasos en la evaluación de cómo las ANP logran cubrir sus objetivos de conservación, es conocer la situación de los recursos que se pretenden proteger (Cantú et al. 2004), y posteriormente medir los efectos generados con las políticas de protección implementadas. El propósito de la evaluación incluye comprender por qué y en qué medida se logran resultados, así como el impacto que han generado.

La evaluación es una parte importante de evidencia de los avances o del logro de resultados y de desempeño institucional. Contribuye de manera significativa a desarrollar conocimientos y aprendizaje institucional (Cifuentes et al. 2000, Corrales 2004, Cuba et al. 2006, Aldana y Bosque 2008). La evaluación de la integridad ecológica se determina a través de indicadores que muestran la capacidad que tiene el ANP para mantener a largo plazo las condiciones necesarias que permitan la existencia de sistemas que protegen (Figuroa y Sánchez-Cordero 2008).

Uno de los indicadores en la evaluación de la integridad ecológica es el grado de conservación, el cual se mide a través de los cambios en las cubiertas del suelo, la deforestación, la fragmentación y la densidad de la vegetación (Sánchez-Azofeifa et al. 1999, Ramírez 2001b, Velázquez et al. 2002, Aldana y Bosque 2008), pues se trata de los procesos de deterioro más importantes que tienen que ver con el desgaste de diversidad biológica, el cambio climático a distintas escalas, la degradación de suelos y la pérdida de servicios ecosistémicos (Figuroa y Sánchez-Cordero 2008, Mas et al. 2009). Además, los procesos de cambio en las cubiertas del suelo se traducen en la pérdida local de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas (Turner et al. 2007).

La capa vegetal corresponde al elemento biótico del paisaje y su comportamiento natural depende principalmente de los elementos abióticos, aunque suele estar modificado por la acción humana. La vegetación es el principal elemento diferenciador del paisaje y el componente del territorio en el que se expresan todos los otros elementos. Los usos del suelo corresponden al elemento antrópico del paisaje y son los que generan las principales modificaciones en la cubierta vegetal (Bolós 1992, Ramírez 2001b, García y Muñoz 2002).

La intervención humana en los complejos naturales (usos del suelo) provoca una serie de cambios secuenciales que podrían ser destructivos o de restablecimiento, reversible o irreversibles, dependiendo de la dirección y velocidad de la dinámica antrópica sobre los elementos naturales, y por consiguiente, a la estabilidad posterior (Bolós 1992).

Existen diferentes procesos que determinan el cambio sobre las cubiertas del suelo. La *perturbación* (alteración o degradación) indica una modificación inducida por el hombre en la vegetación natural, sin ser un cambio en el uso del suelo. La *deforestación* que es la pérdida del arbolado, denso o abierto, a algún uso de suelo (FAO 2005, SEMARNAT 2005, Ramírez y Zubieta 2005). *Recuperación* es el restablecimiento de arbolado denso sobre áreas perturbadas, aclaradas o de vegetación arbustiva. *Revegetación* establecimiento de vegetación secundaria en áreas abandonadas (Ramírez y Zubieta 2005).

Aunque la deforestación se restringe a zonas arboladas, en México la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable determina que los matorrales de las zonas áridas y semi áridas son también categorías forestales (SEMARNAT 2005).

A partir de la dinámica de las cubiertas del suelo se puede evaluar de forma general el grado de conservación. Para la determinación de categorías en el grado de conservación a partir de la variable de las cubiertas del suelo dentro de un periodo determinado, Ramírez (2001b) especificó cuatro tipos:

- Bosques en buenas condiciones.- que corresponde a bosques densos que no han presentado modificaciones.

- Bosque con estado de conservación regular.- tiene una cobertura densa, pero conformados por elementos muy jóvenes o presentan evidencias de perturbación con una posible revegetación.
- Espacios forestales en mal estado.- bosque que han sido perturbados.
- Terrenos convertidos a otros usos.

Altamirano (2009) categoriza el grado de conservación con “cubierta natural conservada” y “Cubierta natural perturbada” que coinciden con las dos primeras categorías de Ramírez (2001b). Sin embargo Altamirano adiciona “uso de suelo agropecuario adecuado y no adecuado”, “urbano” y “agua” que son correspondientes a usos de suelo.

Información espacial en Geoportales

A partir del desarrollo de las tecnologías en Sistemas de Información Geográfica (SIG) se detonó la producción masiva de información espacial, y el análisis de datos más eficiente. Sin embargo ésta información espacial y los productos que genera, no siempre es accesible a todo público, en muchos casos se desconoce la calidad de los datos y es muy posible que se generen duplicidades e inconsistencias debido al uso de especificaciones técnicas diferentes (Campos et al. 2010).

La evolución del Internet ha facilitado el tratamiento y difusión de la información, pues se ha convertido en una completa plataforma informática (Padrón et al. 2004, Viáncos y Salinas 2013). Hasta la llegada del Internet acceder a la información era un proceso lento, tedioso y a veces frustrante. Esto ha cambiado sustancialmente y se espera que cambiará aún más en el futuro con las nuevas técnicas de transmisión y recepción de la información (Arcilla 2003, Campos et al. 2010).

La integración de toda la información es concebida idealmente como un proceso de aprendizaje de todos los actores y sienta las bases para procesos equitativos de planificación, negociación y toma de decisiones. Esto sólo puede tener éxito si la información se transmite efectivamente a los actores y si los conocimientos se comparten igualmente, mejorándose así la transparencia y la confiabilidad, (Ehrensperger et al. 2007, Mejía 2008). La información espacial se ha convertido en uno de los principales insumos para la toma de decisiones en ámbitos públicos, privados y académicos (Tang y Selwood 2003, 2005, Fleming 2005, Masser 2005), por lo que tendrían que estar disponibles en cualquier momento.

La importancia de la información espacial ha generado que desde años recientes los principales motores de búsqueda en internet (*Google, Yahoo, MSN, Bing, etc.*) hayan ligado a sus resultados la distribución de herramientas e información espacial libre por medio de interfaz geográficas, proporcionando al público general fotografías aéreas e imágenes de satélite de alta resolución que anteriormente sólo estaban disponibles a expertos (Boulos 2005). Además que el usuario puede adicionar datos obtenidos con aparatos de posicionamiento global (GPS), fotos, videos e información del conocimiento propio (Kennedy y Bishop 2011).

Los portales Web con información espacial combinan dos poderosas tecnologías: el SIG con el potencial de análisis e integración de información espacial, y el Web, por el cual facilita la conexión al mundo, dando como resultado de esta sinergia la fácil búsqueda de información, herramientas analíticas que pueden compartirse de nuevas formas y ambas con un alcance total al mundo (Tang y Selwood 2005). Además que el usuario no requiere de tener conocimientos especializados en el manejo de información espacial, ya que estos sitios Web tiene las bases cartográficas y atributos listos para consulta (Campos et al. 2010) con una interfaz generalmente intuitiva y amigable que facilita la interoperabilidad.

Las formas de publicar información espacial en Internet pueden ser por mapas estáticos sensitivos que son páginas Web con imágenes de mapa (JPG, PNG, PDF), visualizadores de mapas donde sólo se pueden hacer consultas básicas, aplicaciones *XML (Xtensible Markup Language)* que agrupa en bases de datos las respuestas a peticiones sin un despliegue del atributo espacial, y finalmente la publicación de información espacial por servidores de mapas (Adame 2008).

Adame (2008) define servidor de mapas a la herramienta de servicio que facilita la difusión e intercambio de información espacial a través de módulos interactivos de consulta dinámica vía Internet. Campos et al. (2010) llaman este servicio como "Internet SIG" e incluyen al concepto el desarrollo de geoproses distribuidos e interoperables. Navas y Prieto (2011) lo llaman Portal Espacial o Geoportal y lo definen como el sistema informático especializado en el acceso a la información espacial. Por último, Viáncos y Salinas (2013) dicen que el servidor de mapas es un sistema *hardware* y *software* capaz

de enviar vía Web mapas digitales de forma dinámica en atención a las solicitudes de los usuarios.

Todos los autores coinciden en que el objetivo de este tipo de herramientas es facilitar el acceso y procesamiento de la información espacial desde cualquier navegador de Internet, sin la necesidad de que los datos y el *software* residan físicamente en el procesador del usuario, y que de alguna forma sirvan como insumo en la toma de decisiones (Tang y Selwood 2003, 2005).

Existe gran cantidad de sitios Web con información general relacionada la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM). Por mencionar algunos, la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (SEMARNAT) en <http://mariposamonarca.semarnat.gob.mx/>; *National Geographic* (<http://www.nationalgeographic.es/animales/insectos/mariposa-monarca>); el Fondo Mundial para la Naturaleza (*World Wide Fund for Nature* WWF) http://www.wwf.org.mx/wwfmex/prog_bosques_fs_mm.php, además de otros sitios Web que no se involucran con la distribución de información espacial.

La CONANP a través del sitio <http://www.conanp.gob.mx> muestra información espacial general de las ANP. Cuenta con un visualizador de información espacial propio basado en la estructura *ARCImS* de ESRI, se puede acceder a bases de datos y vínculos con el globo virtual *Google Earth* en el cual se despliegan los límites de las áreas protegidas en formato *kmz* (*Keyhole Markup Language* se basa en *XML* (*eXtensible Markup Language*) para representar datos geográficos).

En base a la revisión de distintos Geoportales así como de la literatura y de los insumos de información espacial que actualmente se encuentran disponibles en línea (plataformas espaciales de *Google*, *Bing Maps*, *World Wind*, *Marble* y otros), se puede hacer una lista con los principales beneficios de diseñar un Geoportal:

- Facilitar el acceso e integración de la información espacial
- Usar recursos existentes sin generar duplicidades de datos
- Reducir tiempos de búsqueda de recursos geoespaciales útiles y relevantes
- Colaboración entre usuarios con intereses comunes
- Instrumento para toma de decisiones multidisciplinarias

- No es obligatorio que los usuarios tengan un perfil específico para el manejo de los instrumentos
- Reducción de costos para acceder a la información espacial, pues actualmente existen múltiples *software* libres de código abierto (*Open Source*) que son especializados para el diseño de Geoportales.

Para el diseño de plataformas de distribución de información espacial existen distintos *software* de tipo comercial que regularmente tienen un elevado costo económico, pero también existen los *software* gratuitos y de código abierto (*Open Source*) que permiten que el usuario no sólo interactúe con la información publicada, sino que de acuerdo a sus capacidades y conocimientos técnicos, tiene la opción de modificar la plataforma de comunicación.

Adame (2008) hizo un análisis comparativo para identificar qué *software Open Source* presenta las condiciones más óptimas para que un administrador sin perfil técnico especializado en este campo tenga las posibilidades de diseñar un Geoportal. Adame evaluó una serie de variables como la flexibilidad, portabilidad, interoperabilidad, facilidad de uso, funcionalidad y soporte. Estas variables se consideraron en apego a los modelos para medir la calidad de *software* de McCall y el de FURPS. Los indicadores a evaluar se identificaron a partir de entrevistas a usuarios potenciales sin el perfil técnico especializado en estas herramientas.

El modelo de McCall busca reducir la brecha entre usuarios y desarrolladores de *software* enfocándose en un número de factores de calidad que reflejen las prioridades de ambos. El modelo FURPS se basa en la medida de funcionalidad, usabilidad, fiabilidad, rendimiento y la capacidad de mantenimiento (<http://es.wikipedia.org/wiki/FURPS>).

Adame (2008) hizo la revisión de los *software Open Source* buscó en las páginas principales, manuales, demos y los instaló para conocer el funcionamiento. Los resultados que obtuvo se integraron en una tabla comparativa donde se destacan las mejores condiciones para su uso (Tabla 1.3 tomada de Adame 2008).

Tabla 1.3 Tabla comparativa de *Software Open Source*

FACTORES		ELEMENTOS A EVALUAR	
Flexibilidad, Portabilidad, Interoperabilidad	1	Flexibilidad	18
Facilidad de uso	2	Portabilidad	19
Funcionalidad	3	Interoperabilidad	20
Soporte	4	Manual Técnico	21
	5	Manual de Usuario	22
	6	Ayuda en Línea	23
	7	Fácil de instalar	24
	8	Fácil de configurar	25
	9	Amigable	26
	10	Iconos de ayuda	27
	11	Cliente ligero	28
	12	Cliente pesado	29
	13	WMS	30
	14	WFS	31
	15	WCS	32
	16	GML	33
	17	SLD	34

Servidor de Mapas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
AlovMap TM J.	S	S	S	S	S	S	S	N	N	N	S	N	S	S	N	S	S	S	N	S	N	S	S	S	S	S	S	S	N	S	N	S	S	S	S
Deegree	S	S	S	S	S	N	S	N	N	N	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	N	S	N	N	S	S	S	S
Geoserver	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	N	N	S	N	N	S	S	S
Mappguide O. S.	S	N	---	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	N	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N	N	N	S	S	N	S	S
Mapserver	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	---	S	S	N	S	---	S	S
Monogis	S	S	S	S	N	S	S	N	N	N	S	S	S	S	S	S	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N	S	---	S	S	S
Springweb	S	S	S	S	S	N	S	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	S	S	S	S	S	S	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	S	S

Las conclusiones del trabajo de Adame mostraron que *Geoserver* y *Mapserver* son las plataformas que presentan las mejores condiciones para el diseño de un portal Web para el manejo y distribución de información espacial, pues soportan todos los formatos de archivos evaluados, tienen la suficiente documentación para su uso, se instalan en los sistemas operativos más comunes y en equipos convencionales (computadoras personales).

Planteamiento del problema

A partir del descubrimiento del fenómeno biológico global de la migración e hibernación de la mariposa monarca, ésta región despertó un creciente interés a nivel nacional e internacional. Debido a ello se han implementado diferentes instrumentos de política ambiental con los que se busca la protección y conservación de hábitat de la mariposa monarca.

Con la intención de mantener en buenas condiciones el hábitat que sirve como lugar de hibernación de la mariposa monarca, y cumplir con los objetivos establecidos en los instrumentos de política ambiental, se han realizado diversos estudios relacionados con las cubiertas del suelo y la dinámica de cambio al interior de la RBMM, ya que es una de las principales variables para evaluar la integridad ecológica.

Los resultados de distintos autores en el monitoreo de las cubiertas del suelo en la RBMM muestran que existe una constante pérdida de la masa forestal provocada por efectos de deforestación (cambios de bosques a usos de suelo) y perturbación (pérdida de bosque sin que sea un cambio de uso de suelo) (Ramírez 2001a, b, Ramírez y Zubieta 2005, Ramírez et al. 2007, Altamirano 2009, Carranza 2012, Vidal et al. 2013).

Los resultados que se reportan de dinámica de cambio en las cubiertas del suelo en la mayoría han sido en base de los límites administrativos de la RBMM, además se han realizado con diferentes insumos y métodos. Ramírez y Zubieta (2005) cubrieron el total del área para los periodos 1993-2000 y 2000-2003, (Ramírez et al. 2007) actualizaron el dato a 2006 de acuerdo con el límite del ANP vigente, Carranza (2012) generó datos de las zonas núcleo de Sierra de Angangueo y del Complejo Volcánico Zitácuaro (CVZ), y Vidal et al. (2013) reportan datos de todas las zonas núcleo incluyendo Cerro Altamirano.

Sólo los estudios de Ramírez (2001b) y Altamirano (2009) reportan resultados con el análisis de la dinámica de cambio de las cubiertas del suelo en base los límites naturales de la región (unidades ambientales), considerando datos de los años 1971-1994 para el caso de Sierra de Angangueo, y actualizado a 2006 en el CVZ.

Falta hacer la actualización de datos de las cubiertas del suelo de la RBMM utilizando dentro de lo posible imágenes de satélite con características homogéneas para disminuir sesgos en la generación de datos. Determinar la dinámica de cambio a partir de los límites administrativos vigentes bajo el esquema de los instrumentos de política ambiental (PCM, zonificación, subzonificación); y conocer el comportamiento de las cubiertas del suelo y dinámica de cambio en relación con las unidades ambientales ya establecidas.

Hasta el momento no existe un portal Web con información espacial de la RBMM lo cual podría facilitar el acceso a dicha información. Por esta razón es importante diseñar un Geoportal que sirva como instrumento de transparencia y fomente la interoperabilidad entre los distintos actores, como instituciones de gobierno, organizaciones no gubernamentales, actores locales, etc., considerando la importancia que tiene la información espacial al momento de la toma de decisiones.

Con estos antecedentes se pretende encontrar respuesta a las siguientes preguntas:

Cubiertas del suelo, unidades ambientales, instrumentos de política ambiental:

1. ¿Cuál es la situación de las cubiertas del suelo dentro de la RBMM en relación con los instrumentos de política ambiental vigentes para el periodo 2001-2012?
2. ¿Cuál es la situación de las cubiertas del suelo dentro de la RBMM en relación con las unidades ambientales vigentes para el periodo 2001-2012?
3. ¿Cuál es el periodo intermedio con las mayores pérdidas de bosques?
4. ¿Cómo han sido los procesos de cambio de las cubiertas del suelo de acuerdo con los instrumentos de política ambiental vigentes?
5. ¿Cómo han sido los procesos de cambio de las cubiertas del suelo acuerdo con las unidades ambientales?
6. ¿Cuál es el estado de conservación de las cubiertas forestales para el periodo 2001-2012?

Acceso a la información espacial y documental de la RBMM:

1. ¿Qué *software* especializado en la difusión de información espacial podría servir para el objetivo de este proyecto?
2. ¿Cuáles son los requerimientos mínimos para ser administrador de un Geoportal?
3. ¿Cuáles serán los beneficios de implementar un Geoportal de la RBMM?
4. ¿Qué tipo de información se puede distribuir en un Geoportal diseñado a partir de *software Open Source*?

Objetivos

El objetivo general de este trabajo es conocer la dinámica y grado de conservación de las cubiertas forestales por unidad ambiental en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca a partir de la declaratoria de protección en el año 2000, y facilitar el acceso a la información generada por medio de un Geoportal.

Los objetivos particulares son los siguientes:

- Completar unidades ambientales correspondientes a cerro Altamirano
- Conocer la dinámica y procesos de cambio de las cubiertas del suelo de acuerdo a los límites administrativos y a las unidades ambientales

- Determinar el grado de conservación de las cubiertas forestales dentro del periodo 2001-2012
- Diseñar plataforma de distribución y acceso a la información vía Web (Geoportal) usando *software* gratuitos y de código abierto (*Open Source*)
- Integrar información espacial y documental del proyecto en Geoportal
- Distribuir información espacial generada en este proyecto por medio de Geoportal

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) se localiza en los municipios de Temascalcingo, San Felipe del Progreso, Donato Guerra y Villa Allende en el Estado de México; y en los municipios de Contepec, Senguio, Angangueo, Ocampo, Zitácuaro y Aporo en el estado de Michoacán. Las coordenadas geográficas extremas son para cerro Altamirano $19^{\circ}59'42''$ y $19^{\circ}57'07''$ latitud Norte y $100^{\circ}09'54''$ y $100^{\circ}06'39''$ longitud Oeste, y para el corredor comprendido por la Sierra de Angangueo (Ramírez 2001a,b) y el Complejo Volcánico Zitácuaro (CVZ) (Capra et al. 1997, Altamirano 2009) son $19^{\circ}44'27''$ y $19^{\circ}18'32''$ latitud Norte y $100^{\circ}22'26''$ y $100^{\circ}09'07''$ longitud Oeste. Tiene una superficie total de 56,259 ha (DOF 2000) (Figura 2.1).

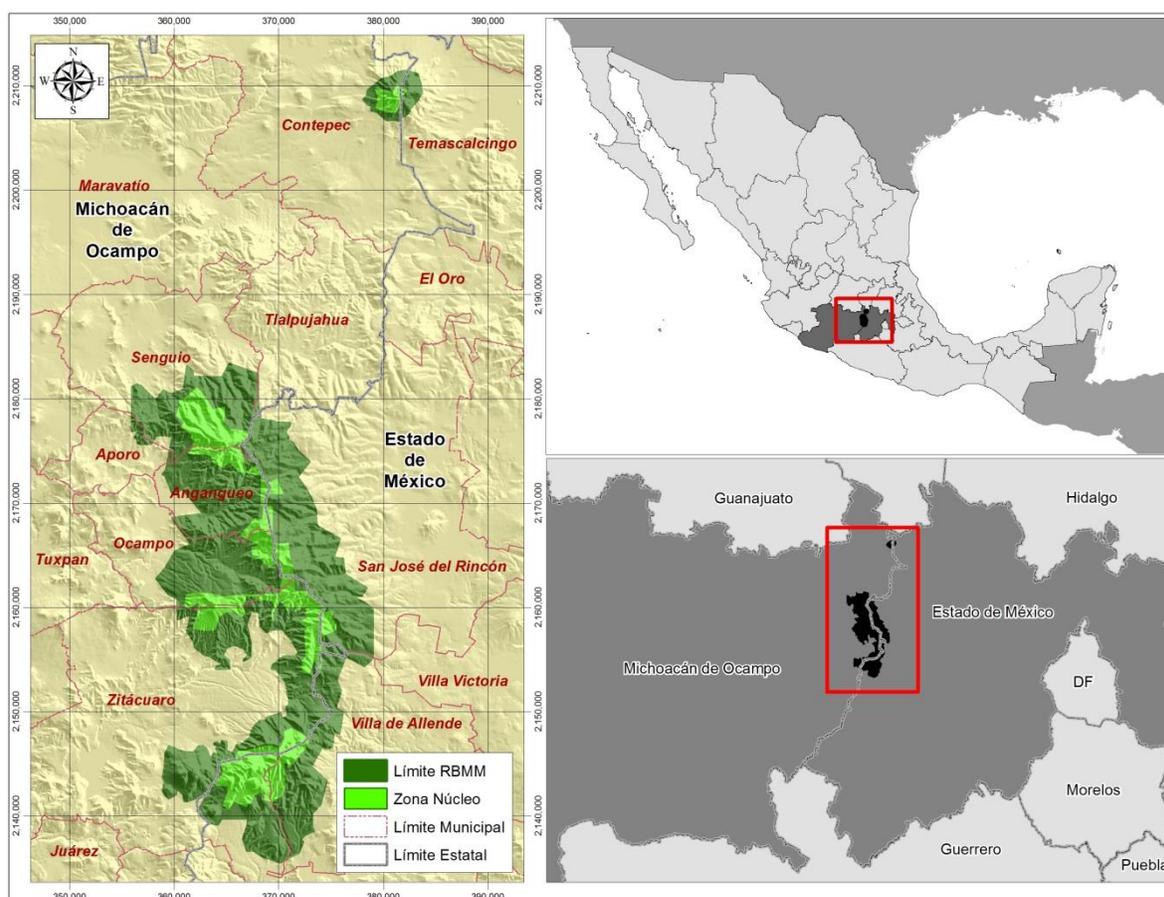


Figura 2.1 Ubicación de la RBMM

Materiales

Para cubrir los objetivos de este trabajo se usaron los siguientes insumos:

- Unidades ambientales de Ramírez (2001b) y Altamirano (2009)
- Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM 2.0) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)
- Carta Geológico-Minera El Oro Hidalgo E14-A16 escala 1:50,000 del Servicio Geológico Mexicano (SGM 2000)
- Ortofotos digitales de 1994 de la Región de la Monarca (INEGI)
- Imágenes de satélite de los sensores LANDSAT ETM+ y SPOT5 (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Imágenes de satélite Landsat ETM+ y SPOT5

SPOT K/J	Fecha	Tipo	Resolución espacial en metros	K/J	Fecha	Tipo	Resolución espacial en metros
585/311	14-abr-12	Multiespectral	10	585/310	14-abr-12	Multiespectral	10
		Pancromática	2.5			Pancromática	2.5
585/311	14-feb-10	Multiespectral	10	585/310	14-feb-10	Multiespectral	10
		Pancromática	2.5			Pancromática	2.5
585/311	27-ene-08	Multiespectral	10	585/310	27-ene-08	Multiespectral	10
		Pancromática	2.5			Pancromática	2.5
586/311	03-feb-06	Multiespectral	10	585/310	03-feb-06	Multiespectral	10
		Pancromática	2.5			Pancromática	2.5
586/311	19-abr-04	Multiespectral	10	585/310	04-mar-04	Multiespectral	10
		Pancromática	2.5			Pancromática	2.5
LANDSAT PATH/ROW	Fecha	Tipo	Resolución espacial en metros				
27-46	26-nov-01	Multiespectral	30				
		Pancromática	10				

Para el procesamiento de la información espacial en formato raster y vectorial se emplearon herramientas y técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica (SIG). Los programas especializados que se utilizaron son *Arcmap 9.3*, *Arcinfo Workstation 9.3* y *ERDAS Imagine 2011*.

Métodos

Delimitación de unidades ambientales de cerro Altamirano

La delimitación de las unidades ambientales de cerro Altamirano se hizo con el método empleado por Ramírez (2001b) y Altamirano (2009) para garantizar la homogeneidad de resultados en la construcción de las unidades.

Las unidades ambientales determinadas por Ramírez (2001b) y Altamirano (2009) se delimitaron en apego a lo establecido en el método de análisis del paisaje integrado a una escala de jerarquización de entre los 1 y 100 km². Para la definición tipológica y espacial consideraron los tres elementos fundamentales: formas del relieve, tipo de vegetación y uso de suelo (Bertrand 1968, Bolós 1992, Smiet 1996, Ramírez 2001b, Altamirano 2009, García y García 2013) (Figura 2.2).



Figura 2.2 Elementos fundamentales del paisaje

El esquema general del método para la determinación de las unidades del paisaje y unidades ambientales de cerro Altamirano se muestra en la Figura 2.3.

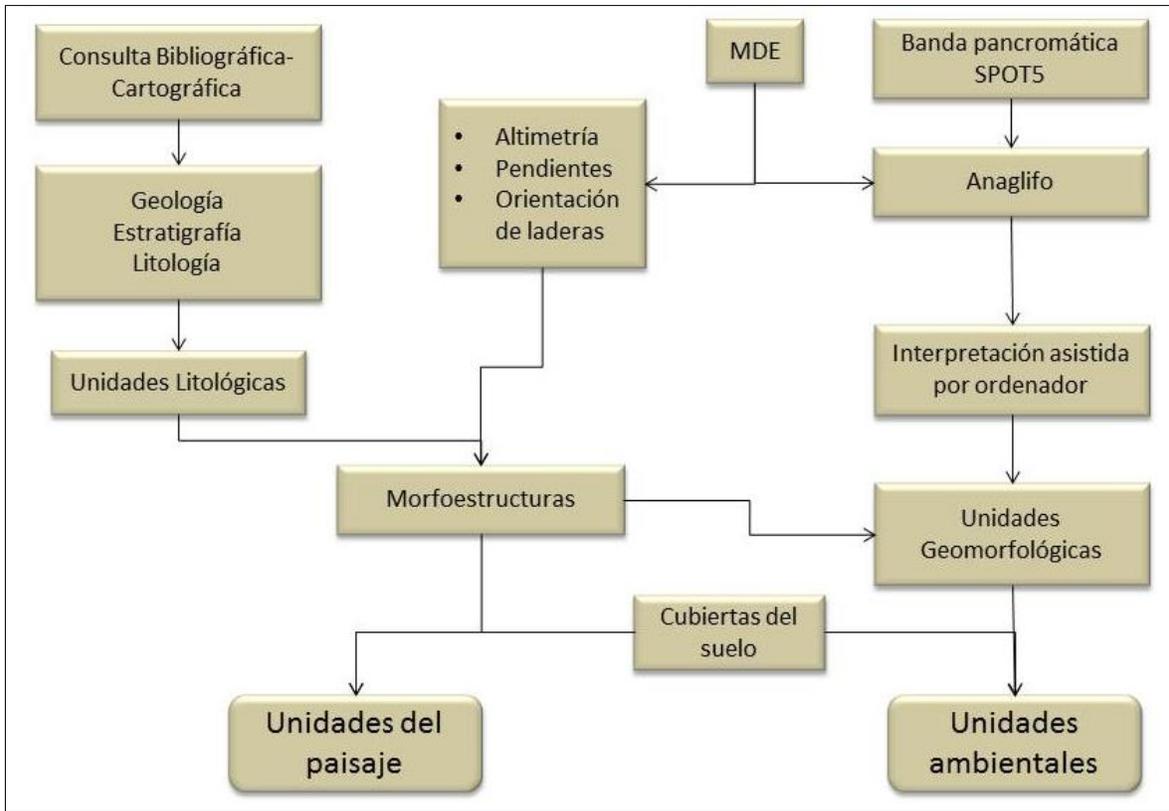


Figura 2.3 Esquema general del método para determinar unidades del paisaje y unidades ambientales

Después de la revisión bibliográfica y cartográfica y de contar con los insumos requeridos, se analizaron los componentes biofísicos de expresión dominante (las morfoestructuras y la geomorfología), por lo cual se examinó la estructura que dio origen al relieve actual, los materiales que lo conforman y las formas que lo definen.

Para determinar las morfoestructuras se hizo la descripción de los elementos geológicos utilizando la Carta Geológico-Minera El Oro Hidalgo E14-A16 a escala 1:50,000 (SGM 2000). Dicha carta tuvo que ser georeferida con la herramienta *Georeferencing* del programa *Arcmap 9.3*. En el mismo programa pero con las herramientas del editor vectorial, se hizo la digitalización de las unidades geológicas así como los elementos estructurales (fallas geológicas).

Con el Continuo Mexicano de Elevaciones 2.0 del INEGI (CEM 2.0) se construyó el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y posteriormente el Modelo Digital de Sombras (MDS) el cual resalta las formas del relieve modificando la exageración y el ángulo de iluminación. El análisis morfométrico del relieve se efectuó a partir del MDE el cual

permitió la medición y extracción de atributos que describen los rasgos topográficos del paisaje (Zinck 2012). La clasificación morfométrica del relieve es la primer aproximación para iniciar la elaboración de un mapa de paisajes, pues permite conocer la diferenciación inicial del territorio en: planicies, lomeríos y montañas, así como la categoría altitudinal absoluta (Priego et al. 2008).

Para el análisis altimétrico se establecieron rangos numéricos basados en las condiciones locales (Zinck 2012). Ramírez (2001b) y Altamirano (2009) explican que para el territorio de la RBMM usar rangos de 200 metros de altitud es suficiente para destacar las dimensiones de las grandes estructuras geológicas que lo componen. El análisis de las pendientes se representó en grados (de 0° a 90°). Ciertos rangos de inclinación fueron la característica de algunas formas del relieve, por lo cual condicionantes del uso del suelo (Ramírez 2001b). Integrando la altimetría, las pendientes, el MDS y la imagen de satélite, se hizo una interpretación (en ordenador) para identificar las grandes unidades morfoestructurales.

Usando la banda pancromática SPOT5 (2.5 metros por *pixel*) y el MDE se construyó una imagen de dos dimensiones que produce el efecto tridimensional del relieve conocido como *anáglifo* (<http://www.wordreference.com>). Con el *anáglifo* y las unidades morfoestructurales, se delimitaron las unidades geomorfológicas siguiendo el planteamiento de Ramírez (2001b) y Altamirano (2009) identificando únicamente aquellas formas del relieve que tuvieran una clara diferenciación en el paisaje. En la Tabla 2.2 se muestran las categorías asignadas para la Sierra de Anganguero, el CVZ y Cerro Altamirano.

Tabla 2.2 Unidades geomorfológicas de la RBMM

Relieve	Unidades Geomorfológicas	
Volcánico	Relieve montañoso	Laderas denudativas escasamente incididas por la red torrencial
		Laderas denudativas muy incididas por la red torrencial
		Superficies denudativas de interfluvios cumbrales
		Valles intermontanos
	Rampa de piedemonte	Piedemonte de flujos piroclásticos
		Piedemonte coluvio-deluvial
	Elevaciones menores	Domos volcánicos de laderas con escaso modelado erosivo
		Domos volcánicos de laderas modeladas por erosión
		Mesetas de lava escasamente modeladas
		Mesetas de lava modeladas

	Lomeríos cubiertos por flujos piroclásticos
No volcánico	Relieve montañoso muy modelado por erosión
	Depósitos de jales mineros
Planicies	Planicies aluviales
	Planicies lacustres
Formas complementarias del relieve	Fondo de valle fluvial acumulativo
	Valle fluvial de laderas montañosas
	Valle fluvial en rampa de piedemonte
	Valle fluvial con perfil transversal asimétrico
	Cañones
	Áreas acarcavadas
	Escarpes de falla
	Cráteres

Cubiertas del suelo

Para analizar la dinámica de cambio de las cubiertas del suelo se utilizó un método híbrido ((Paniagua 2009, Paniagua et al. 2011, Paniagua et al. 2013) que incluye el pre-procesamiento, clasificación automatizada y la interpretación visual de las imágenes de satélite. Este método resalta las ventajas potencializando las virtudes y reduciendo las limitaciones que se presentan cuando se manejan la clasificación automatizada y la interpretación visual por separado (Chuvienco 1990, 2008; Paniagua 2009, Paniagua et al. 2011, Paniagua et al. 2013) (Figura 2.4)

Las imágenes LANDSAT ETM+ se obtuvieron del sitio *Global Land Cover Facility Earth Science Data Interfaz* (<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/>). Se descargaron las bandas multiespectrales y la pancromática con proceso de ortorectificación. Las imágenes del sensor SPOT5 se solicitaron a la Subdirección encargada de la Coordinación de Geomática (SECG) de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) que es gestor oficial ante la Estación de Recepción México de la Constelación SPOT (ERMEXS).

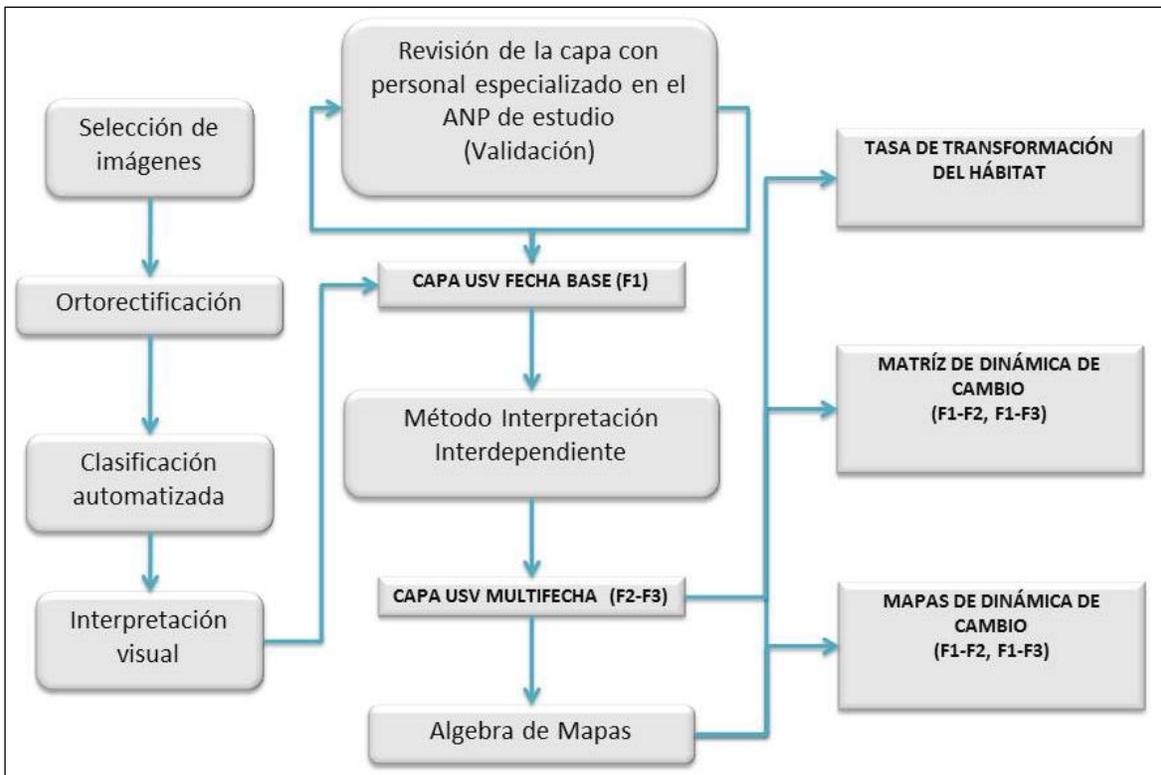


Figura 2.4 Esquema de método híbrido para análisis de dinámica de cambio de las cubiertas del suelo

Para las imágenes SPOT5 el procedimiento de ortorectificación se efectuó en el módulo *Leica Photogrammetry Suite* del programa *ERDAS Imagine*, que reconoce el registro de las efemérides generadas por el pasajero DORIS (*Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite*), y permite determinar la posición del satélite con una precisión superior a 10cm.

Los puntos de control terrestre (GCP) se tomaron de ortofotos digitales del INEGI del año de 1994 y que tienen una resolución espacial de 2 metros. Con las ortofotos se obtuvieron los valores para las coordenadas X y Y, y para el valor de elevación (Z) se utilizó el MDE. Los parámetros cartográficos se presentan a continuación (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Parámetros cartográficos

Sistema de Coordenadas	UTM
Zona	14
Unidades	Metros
Datum	WGS84
Elipsoide	WGS84
Meridiano Central	-99°

Para generar el registro de las cubiertas del suelo de la RBMM se definió la leyenda a partir del Conjunto de Datos Vectoriales de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación escala 1:250,000, serie IV (INEGI 2009). La descripción de las categorías se tomó del Diccionario de Datos de Uso de Suelo y Vegetación 1:250,000 del INEGI (INEGI 2007). En dicha descripción se hicieron modificaciones de acuerdo a la escala y los objetivos de este proyecto (Tabla 2.4). Entre las principales adecuaciones se contempla el área agrícola sin mencionar el tipo de agricultura que se practica (temporal, humedad, riego) y los pastizales incluye los que son inducidos, cultivados o de pastoreo.

Tabla 2.4 Leyenda de las cubiertas del suelo

Bosque de Oyamel	Bosque de coníferas del genero <i>Abies</i> , propios de climas semifríos y húmedos de las regiones montañosas.
Bosque de Pino-Encino	Bosque mixto de pinos (<i>Pinus</i>) y encinos (<i>Quercus</i>). Ocupa la mayor parte de la superficie forestal de las partes superiores de los sistemas montañosos del país.
Bosque de Encino	Se desarrollan en muy diversas condiciones ecológicas, casi desde el nivel del mar hasta cerca de los 3000 metros de altitud. Salvo en las condiciones más áridas, se le puede encontrar casi en el resto de país.
Vegetación Secundaria	Estado sucesional de la vegetación arbórea. Se presenta donde la vegetación original fue eliminada o perturbada
Bosques Abiertos	Distribución discontinua de árboles, pero con una cobertura de copa de al menos 10 por ciento y menos del 40 por ciento. Generalmente hay una cubierta continua de pasto, que permite el pastoreo y la propagación de incendios
Área Agrícola	Área en la que el suelo es utilizado para la realización de labores agrícolas.
Pastizal	Comunidades vegetales caracterizada por la dominancia de gramíneas (pastos o zacatales) o gramínoideas. Se incluyen pastizales determinados tanto por condiciones naturales de clima y suelo, como aquellos establecidos por influencia humana.
Área sin Vegetación Aparente	La ausencia de vegetación se determina por las condiciones naturales (climas muy áridos, salinas, etc.), eventos extraordinarios (deslaves, derrumbes, etc.) así como actividades humanas que eliminan la vegetación en su totalidad.
Asentamientos Humanos	Ciudades, pueblos, localidades

En este trabajo los bosques abiertos tienen un grado de perturbación mayor que los bosques secundarios. Se identifican con la evidente disminución del dosel de bosques primarios o secundarios entre los periodos y representan pérdidas. Los bosques secundarios determinan la revegetación de los bosques que previamente fueron afectados (deforestados o perturbados).

Para la clasificación automatizada se usó el módulo *Knowledge Engineer* de *ERDAS Imagine* que trabaja basado en un sistema de árbol de decisiones. Las variables que se adicionaron son las siguientes:

- Cubierta Forestal
- Cubierta No Forestal
- Asentamientos Humanos
- Cuerpos de Agua
- Rangos altitudinales

Los rangos altitudinales se determinaron de acuerdo a Ramírez (2001b) que explica que dentro de la RBMM la vegetación presenta el siguiente comportamiento:

- Bosques mixtos de los 2500 hasta casi los 3000 msnm
- Bosque mesófilo de los 2600 hasta casi los 3200 msnm
- Bosque de abies de los 2900 hasta los 3500 msnm
- Bosque de pino de los 3500 hasta los 3600 msnm

La capa en formato raster que resulto de la clasificación automatizada, se transformó a formato vectorial en el programa *Arcinfo Workstation*. En este formato se hicieron las siguientes modificaciones básicas:

- Suavizado de líneas (tienen la forma del pixel con vértices cada 10 metros).
- Cambio del límite por el límite del área de estudio.
- Se eliminó el área mínima cartografiable (4mm^2).
- Edición de atributos en base de datos.
- Topologías

Finalmente se hizo la interpretación de la imagen SPOT5 multiespectral con un realce espacial a partir de la banda pancromática (2.5 metros). La idea no fue marcar el mínimo detalle sino aprovechar la mayor resolución espacial para conseguir delimitar las fronteras entre categorías que posiblemente el método de clasificación automatizado no consiguió separar.

Con el método de interpretación interdependiente propuesto por FAO (1996, 2001) se generaron las capas de las cubiertas del suelo históricas a partir de la capa 2012 en el siguiente orden: 2010, 2008, 2006, 2004 y 2001.

Análisis de dinámica de cambio y grado de conservación

Para conocer el grado de conservación de las cubiertas forestales de la RBMM se hizo el análisis de la dinámica de cambio con los límites administrativos y posteriormente los límites de las unidades ambientales.

Las categorías de uso de suelo y vegetación de cada año se re-categorizaron en dos grandes grupos: Forestal y No Forestal, y posteriormente se calculó la tasa de cambio a partir de la fórmula de la FAO (1996,2001):

$$\delta = 1 - \left(1 - \frac{S_1 - S_2}{S_1} \right)^{1/n}$$

Dónde:

δ = Tasa de Cambio

S1 = Superficie Forestal, al inicio del periodo

S2 = Superficie Forestal, al final del periodo

n = Número de años entre las dos fechas

Los datos de dinámica de cambio en las cubiertas del suelo se organizaron según la matriz de transición (Fig. 2.5 y 2.6) que proponen Ramírez y Zubieta (2005) y se identificaron los principales procesos de transformación.

La *perturbación* (alteración o degradación) son las modificaciones generadas en las cubiertas forestales sin ser un cambio en el uso del suelo. La *deforestación* se considera a la pérdida total del arbolado, denso o abierto, por algún a algún uso de suelo no forestal (FAO 2005, SEMARNAT 2005, Ramírez y Zubieta 2005). *Recuperación* es el restablecimiento de arbolado denso en áreas previamente perturbadas. *Revegetación* es el establecimiento de vegetación secundaria en áreas con usos no forestales abandonadas, (Ramírez y Zubieta 2005), también se contempla para los bosque abiertos previamente perturbados que comienzan a presentar vegetación secundaria. La categoría de *intensificación* implica cambios entre los usos de suelo.

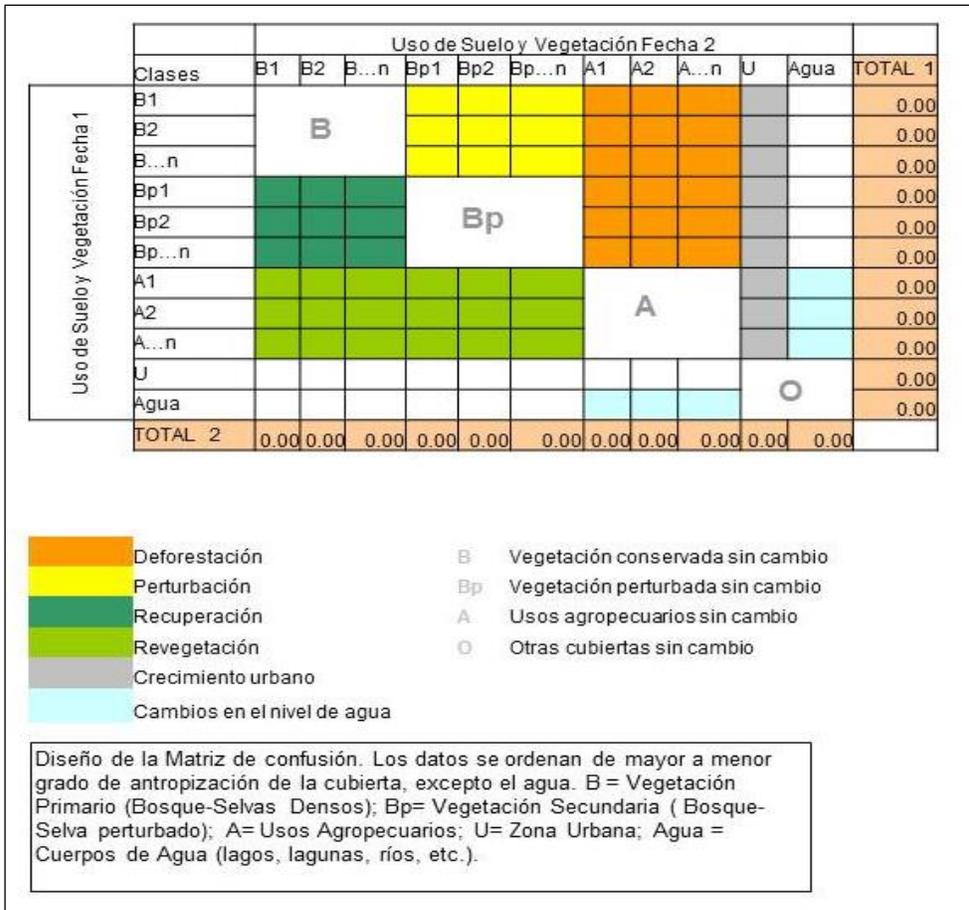


Figura 2.5 Matriz de transición

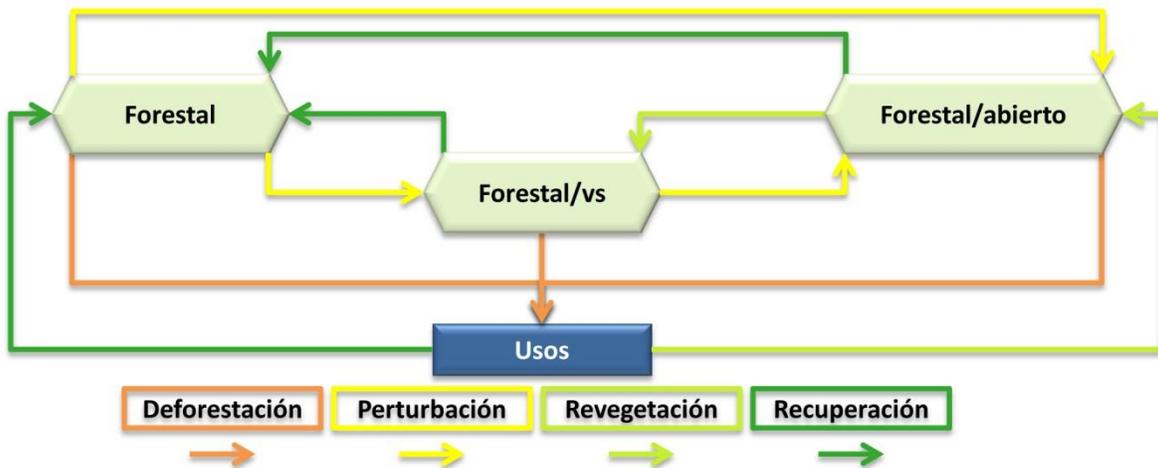


Figura 2.6 Diagrama de procesos de transformación

El balance en la dinámica de cambios positivos y negativos de las cubiertas del suelo en los periodos de análisis se hizo construyendo la matriz de dinámica de cambio, donde a las categorías No Forestales del último año se le restan las categorías Forestales del

primer año, obteniendo el cambio neto del periodo que puede representar ganancias o pérdidas de las cubiertas forestales.

Para determinar el grado de conservación forestal dentro de la RBMM se utilizaron las categorías de los procesos de cambio de las cubiertas del suelo (Sánchez-Azofeifa et al. 1999, Ramírez 2001b, Velázquez et al. 2002, Altamirano 2009). Categorizando como “Usos de suelo no forestales” a lo que ya había sido transformado hasta el año 2001; para este proyecto el grado de conservación se asignó en cuatro categorías: *Bueno*, donde se mantienen las cubiertas forestales, *Regular* donde se presentan procesos de revegetación, *Malo* debido a perturbación, y *Convertido* donde hubo deforestación (Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Procesos de cambio y grados de conservación

Proceso de cambio	Cubiertas del suelo		Grado de conservación
	Fecha 1	Fecha 2	
Sin cambio	Forestal	Forestal	Bueno
	Forestal/vs	Forestal/vs	
Revegetación	Forestal abierto	Forestal/vs Forestal abierto	Regular
	Uso no forestal		
	Arbustos	Arbustos	
Perturbación	Forestal	Forestal abierto	Malo
	Forestal/vs		
Deforestación	Forestal	Uso no forestal	Convertido
	Forestal/vs		
	Forestal abierto		
	Arbustos		

Geoportal

En el proceso de compilación y generación de datos espaciales se implementó un sistema informático integrado, mismo que permite la gestión de datos y servicios geográficos disponibles en Internet. El servidor de mapas Web es la plataforma de divulgación de resultados y tiene como objetivo garantizar el acceso a la información generada en este proyecto.

La selección del *software* para la publicación de la información espacial de este proyecto, se hizo a partir de los resultados del análisis de Adame (2008) quien comparó algunas aplicaciones *OpenSource* para la difusión e intercambio de información espacial por medio de la tecnología Web.

Adame (2008) determinó que *Geoserver* y *Mapserver* son las plataformas con las condiciones más óptimas. Sin embargo para efectos de este proyecto se hizo la revisión práctica de estas herramientas, los manuales y la interfaz. Se decidió trabajar con *MapGuide Open Source* de acuerdo con la variable de facilidad de uso, ya que cumple con los requerimientos para un perfil técnico no especializado. Se utilizó *MapGuide Open Source 2.5* y *MapGuideMaestro 5.0 beta* disponible para descarga en la siguiente dirección: <http://download.osgeo.org/mapguide/maestro/.la>

MapGuide Open Source facilita la creación de visores cartográficos con funciones como selección de elementos espaciales, consulta de atributos, creación de áreas de influencia (*Buffers*), mediciones, etc. Este servicio incluye una base de datos *XML* para almacenaje y administración de contenido, soporta archivos con formatos espaciales y bases de datos. Actualmente *MapGuide Open Source* se puede instalar en los sistemas operativos *Linux* y *Microsoft Windows*, y es compatible con los servidores Web *Apache* e *Internet Information Service* (IIS), y la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) permite desarrollar aplicaciones Web en lenguajes de programación *PHP*, *Net*, *Java* y *JavaScript* (Gómez 2013).

Se utilizó infraestructura de cómputo del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) donde se almacenó la información, bases de datos y *software* (*MapGuide Open Source 2.5* y *MapGuideMaestro 5.0 beta* y *Drupal*).

Con *MapGuideMaestro 5.0 beta* que es el entorno gráfico de edición instalado en el servidor del CIGA, se modificaron las características del proyecto para la visualización a través del Geoportal: adición de capas, diseño de mapas, leyendas, contexto espacial, capas que se pueden consultar, atributos visibles, etc. Se usó la plataforma de gestión *Drupal* para el manejo de contenidos Web para la publicación de datos editados en *MapGuide*.

Drupal es la plataforma modular multipropósitos con la capacidad de direccionar a las aplicaciones de *Web mapping* y servicios Web geospaciales desarrolladas en *MapGuide Open Source 2.5* y *MapGuideMaestro 5.0 beta* para la visualización y manipulación de información espacial. Se seleccionó esta aplicación debido a la facilidad que presenta por medio de plantillas para la creación de páginas Web. Los requerimientos de instalación de *Drupal* se recomiendan un servidor Web *Apache*, un servidor de bases de datos *MySQL* y es programado en lenguaje *PHP*, compatible con los sistemas operativos *Linux* y *Microsoft Windows* (Figura 2.7).

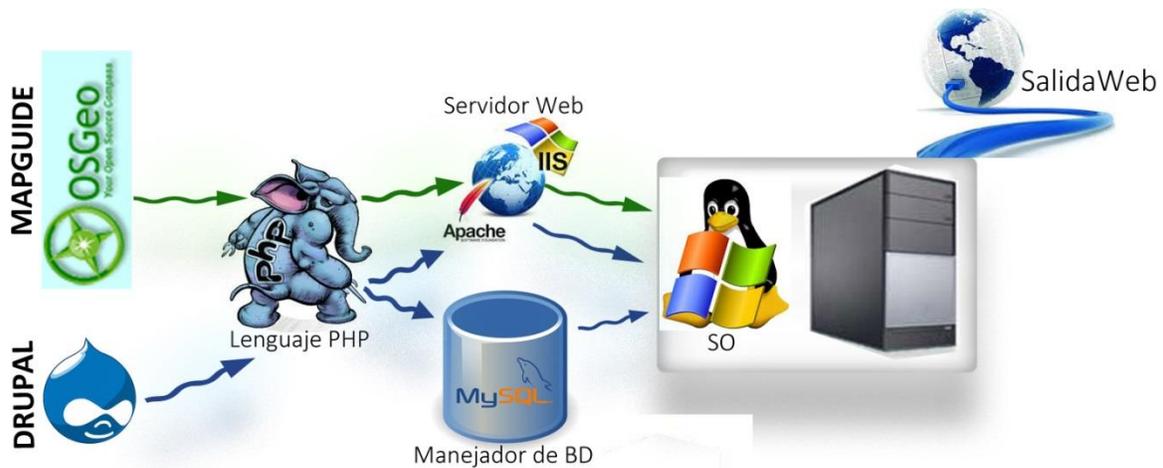


Figura 2.7 Arquitectura de instalación de aplicaciones

Como parte de la administración el portal se configuró para que el usuario cree una cuenta de registro y el administrador autorice el alta de la solicitud, de esta manera se mantiene un control e identificación de usuarios que puedan acceder a la información, pues los temas publicados podrían ser sujetos a debate por medio de foros de discusión, se pretende que no se pierda la objetividad en comentarios y dentro de lo posible, generar retroalimentación con esta herramienta.

MapGuide Open Source permitió adicionar capas de imágenes de satélite del servicio de globos virtuales como *Google Satellite*, *Google Streets*, *Google Physical*, *Google Hybrid*, entre otros, para ello fue necesario usar el sistema de referencia correspondiente al código de la EPSG: 3857 (*European Petroleum Survey Group*), conocido también como "*Web Mercator*", que es el utilizado por la mayoría de servidores Web de mapas como *Google*, *Bing*, etc., y es recomendado si nuestro mapa de origen utiliza un sistema de

coordenadas proyectadas (UTM-LAMBERT), pues la deformación del mapa u ortofoto de origen es menor.

De manera alterna se adicionó la información preliminar generada en este proyecto en la plataforma del portal *NATMAPS* que es una aplicación Web de acceso libre y gratuito que permite editar y publicar mapas en la red. *NATMAPS* cuenta con las bases cartográficas como *Google Satellite*, *Google Streets*, *Google Physical*, *Google Hybrid*, entre otros, además de que permite agregar sitios WMS (*Web Map Server*). El sistema contempla como uno de sus principales objetivos el aspecto social, pues permite la creación de mapas colaborativos, en los que participa más de una persona abriendo las posibilidades de creación, manejo y actualización de los datos espaciales.

Para el uso de *NATMAPS* sólo fue necesario el tener acceso a Internet, ya que no requirió ser instalado en algún tipo de equipo de cómputo, pues como parte del servicio que ofrece la plataforma incluye todas las herramientas básicas para la integración de información espacial por medio de la Web. Por tal motivo existe la posibilidad de ser administrador del servicio personalizado sin la necesidad de tener físicamente una instalación.

3. RESULTADOS

Unidades Ambientales

Siguiendo el método general de Ramírez (2001b) y Altamirano (2009), se completaron las unidades ambientales faltantes de la RBMM (cerro Altamirano) (Fig. 3.1) (Tabla 3.1).

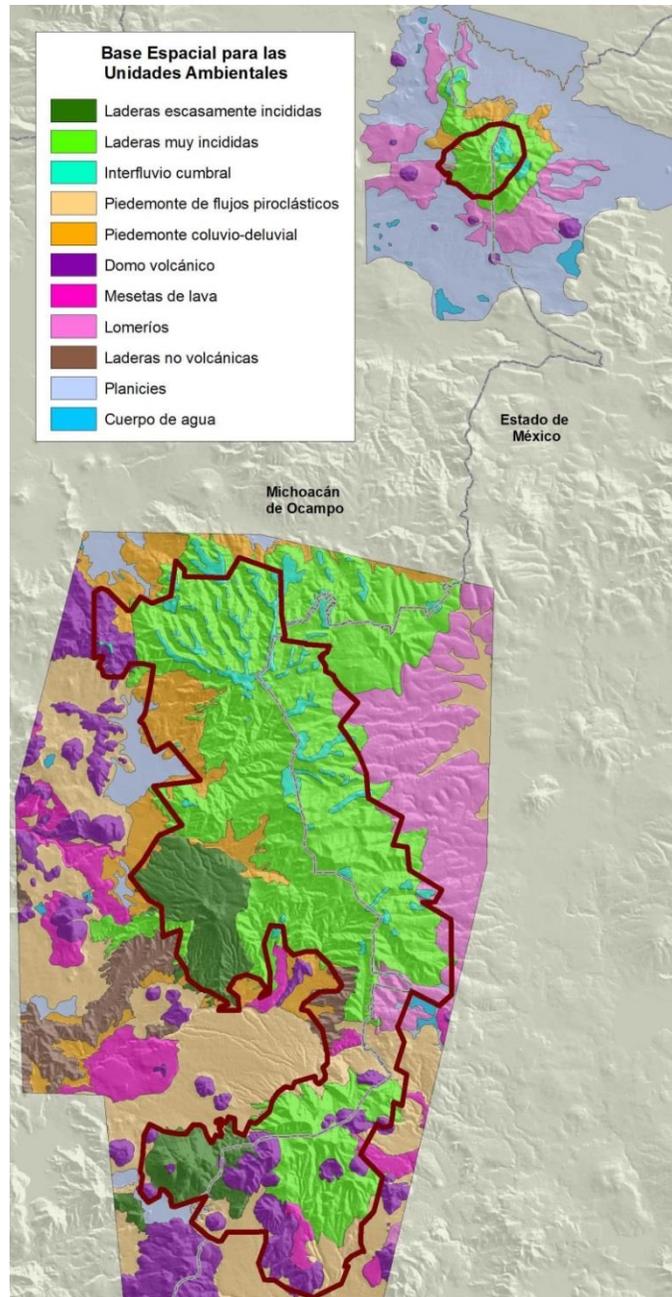


Figura 3.1 Unidades ambientales RBMM

Tabla 3.1 Superficie por unidad ambiental en la RBMM

Base espacial para unidades ambientales	RBMM	
	Ha	%
Laderas muy incididas	31,579	56.13
Laderas escasamente incididas	7,116	12.65
Interfluvio cumbral	2,767	4.92
Piedemonte de flujos piroclásticos	3,499	6.22
Piedemonte coluvio-deluvial	3,414	6.07
Domo volcánico	4,420	7.86
Mesetas de lava	708	1.26
Lomeríos	1,773	3.15
Laderas no volcánicas	693	1.23
Planicies	288	0.51
Cuerpo de agua	4	0.01
TOTAL	56,259	100

La unidad “laderas muy incididas” cubre más de la mitad de la superficie de la RBMM con 31,579 ha (56.13%). Las laderas escasamente incididas tienen el 12.65% (7,116 ha), y el resto de las unidades cubren en pequeñas proporciones de la RBMM (Fig. 3.2).

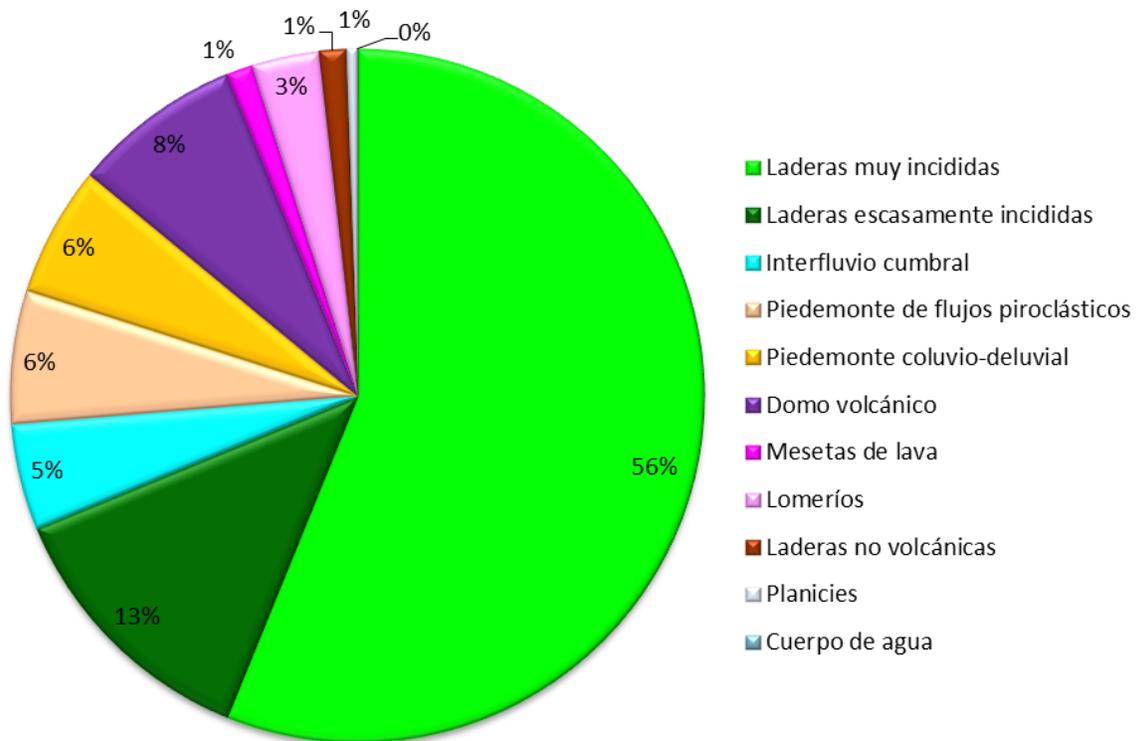


Figura 3.2 Porcentaje por unidad ambiental en la RBMM

Cubiertas del suelo en la RBMM

En la Tabla 3.2 se muestran los datos de superficie (hectáreas y porcentaje) por categoría de la RBMM para cada año de análisis.

Tabla 3.2 Superficie de las cubiertas del suelo RBMM

CUBIERTAS DEL SUELO	2001		2004		2006		2008		2010		2012	
	HA	%										
FORESTAL												
Bosque de Oyamel	7,613	13.53	7,594	13.50	7,496	13.32	7,484	13.30	7,205	12.81	7,124	12.66
Bosque de Pino-Encino	885	1.57	885	1.57	884	1.57	884	1.57	884	1.57	884	1.57
Arbustos Secundarios	2,916	5.18	2,978	5.29	3,017	5.36	3,011	5.35	2,990	5.31	2,992	5.32
Bosque de Encino/vs	250	0.44	250	0.44	250	0.44	250	0.44	250	0.44	250	0.44
Bosque de Oyamel/vs	10,068	17.90	9,556	16.99	9,366	16.65	8,628	15.34	8,317	14.78	8,254	14.67
Bosque de Pino-Encino/vs	20,414	36.29	20,057	35.65	19,914	35.40	19,632	34.90	19,655	34.94	19,590	34.82
Bosque de Oyamel Abierto	1,019	1.81	1,208	2.15	1,411	2.51	1,844	3.28	2,028	3.61	2,075	3.69
Bosque de Pino-Encino Abierto	956	1.70	1,201	2.13	1,335	2.37	1,468	2.61	1,279	2.27	1,268	2.25
Subtotal	44,121	78.42	43,729	77.73	43,674	77.63	43,201	76.79	42,607	75.73	42,437	75.43
NO FORESTAL												
Área Agrícola	8,977	15.96	8,979	15.96	8,997	15.99	9,063	16.11	9,126	16.22	9,130	16.23
Área sin Vegetación Aparente	43	0.08	43	0.08	43	0.08	43	0.08	108	0.19	108	0.19
Asentamientos Humanos	158	0.28	158	0.28	158	0.28	158	0.28	143	0.25	164	0.29
Pastizal	2,953	5.25	3,343	5.94	3,379	6.01	3,786	6.73	4,267	7.58	4,412	7.84
Subtotal	12,131	21.56	12,523	22.26	12,578	22.36	13,051	23.20	13,645	24.25	13,814	24.55
OTROS												
Cuerpo de Agua	7	0.01	7	0.01	7	0.01	7		7	0.01	7	0.01
Subtotal	7	0.01	7	0.01	7	0.01	7	0.00	7	0.01	7	0.01
TOTAL	56,259	100										

Para el año 2001 las cubiertas forestales representaban el 78.42%, pero para el 2012 reduce al 75.43%. Los bosques que mayor representación en la RBMM son pino-encino con vegetación secundaria (alrededor del 35%) y los bosques de oyamel con vegetación secundaria (alrededor del 15%). Los bosques de oyamel abiertos aumentan de 1,019 ha de 2001 a 2,075 ha en 2012. Los pastizales aumentan de 2,953 ha en 2001 hasta 4,412 ha en 2012.

Los periodos de mayor pérdida de bosques son 2001-2004 con 392 ha con una Tasa de Transformación (TT) del 0.30%, 2006-2008 con 473 ha con una TT del 0.54%, y en 2008-2010 con 594 ha con una TT del 0.69%. En el periodo general de análisis 2001-2012 se perdió el total neto 1,683 ha forestales con una TT del 0.35% a una velocidad promedio de 135 hectáreas al año (únicamente se consideraron los cambios por deforestación, sin incluir procesos de perturbación) (Tabla 3.3) (Figura 3.3).

Tabla 3.3 Tasa de transformación RBMM

Período	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual	HA/año	Cambio Acumulado
2001-2004	44,121	43,729	-392	3	0.00297	0.30	-131	-392
2004-2006	43,729	43,674	-55	2	0.00063	0.06	-27	-447
2006-2008	43,674	42,201	-473	2	0.00543	0.54	-236	-919
2008-2010	43,201	42,607	-594	2	0.00690	0.69	-297	-1513
2010-2012	42,607	42,437	-170	2	0.00200	0.20	-85	-1683
Total								
2001-2012	44,121	42,437	-1,683	11	0.00353	0.35	-153	-1683

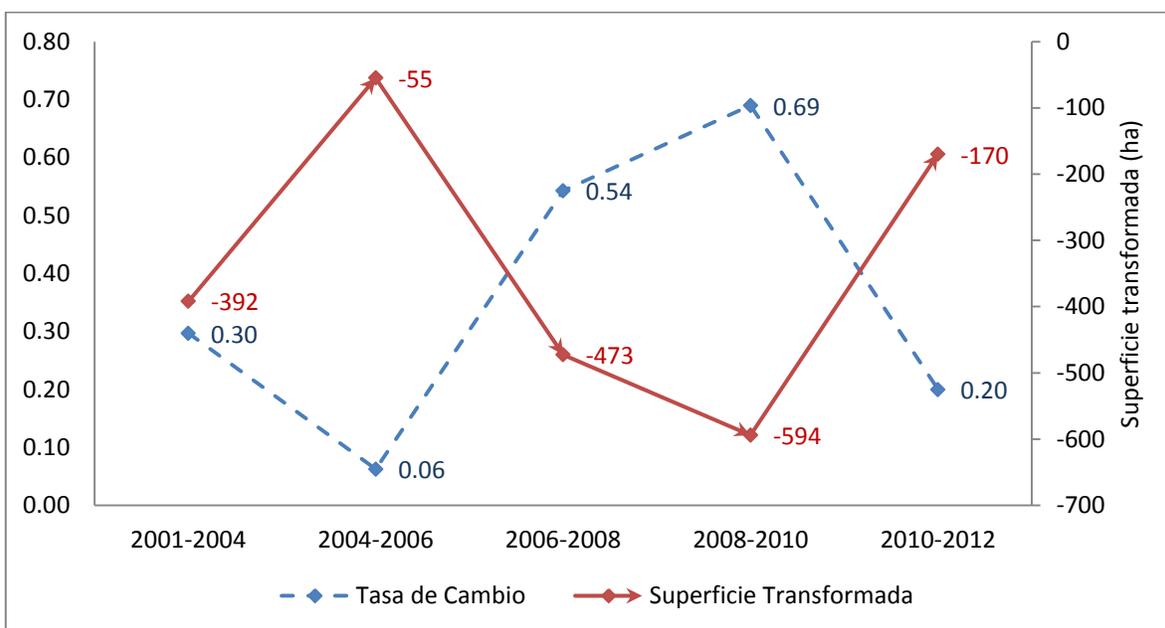


Figura 3.3 TT y Superficie transformada por periodo

La matriz de transición del periodo general de análisis 2001-2012 muestra la suma total de procesos de deforestaron en 1,911 ha principalmente por la categoría de pastizal (1,665 ha). La suma de hectáreas modificadas por perturbación son 1,707 ha principalmente en los bosques de oyamel. También resalta la intensificación que se da en 21 ha de área agrícola a asentamientos humanos, esto se explica a la reubicación de asentamientos debido a los deslaves del 2010 (La Jornada 2012) (Tabla 3.4).

Tabla 3.4 Matriz de transición 2001-2012 RBMM

Matriz de transición de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca 2001-2012	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino-Encino	Arbustos Secundarios	Bosque de Encino/vs	Bosque de Oyamel/vs	Bosque de Pino-Encino/vs	Bosque de Oyamel Abierto	Bosque de Pino-Encino Abierto	Área Agrícola	Área sin Vegetación Aparente	Asentamientos Humanos	Pastizal	Cuerpo de Agua	Total 2001
Bosque de Oyamel	7.124				3		390		8	9		79		7.613
Bosque de Pino-Encino		884							1					885
Arbustos Secundarios			2.801			0			26	4		84		2.916
Bosque de Encino/vs				250										250
Bosque de Oyamel/vs					8.245		859		13	29		922		10.068
Bosque de Pino-Encino/vs			1			19.570		458	134	3		249		20.414
Bosque de Oyamel Abierto					5		819		11	2		182		1.019
Bosque de Pino-Encino Abierto						1		801	5	1		148		956
Área Agrícola			18		0	6	2	1	8.926	0	21	1		8.977
Área sin Vegetación Aparente										43				43
Asentamientos Humanos										15	143			158
Pastizal			172		1	12	6	9	6	2		2.746		2.953
Cuerpo de Agua													7	7
Total 2012	7.124	884	2.992	250	8.254	19.590	2.075	1.268	9.130	108	164	4.412	7	56.259
Procesos de cambio	Deforestación		Perturbación		Revegetación		Intensificación							

El balance entre los cambios positivos y negativos de las cubiertas del suelo para el periodo 2001-2012 muestra la pérdida neta de 1,683 ha de bosques, siendo el cambio a pastizal la categoría que más modificaciones genera (1,465 ha) y afecta principalmente al bosque de oyamel con vegetación secundaria (921 ha) (Tabla 3.5).

Tabla 3.5 Matriz de dinámica de cambio 2001-2012 RBMM

Matriz de dinámica de cambio en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca 2001-2012	Área Agrícola	Área sin Vegetación Aparente	Asentamientos Humanos	Pastizal		
Bosque de Oyamel	-7.61	-8.85		-79.42		
Bosque de Pino-Encino	-0.72					
Arbustos Secundarios	-8.15	-4.26		88.18		
Bosque de Encino/vs						
Bosque de Oyamel/vs	-13.46	-28.82		-920.79	Total de cambio neto en el periodo Ha	-1,683
Bosque de Pino-Encino/vs	-127.76	-2.59		-236.79	Total por año Ha	-153
Bosque de Oyamel Abierto	-9.09	-1.97		-176.52		
Bosque de Pino-Encino Abierto	-4.05	-1.35		-139.23		
Subtotal	-171	-48	0	-1,465		

En los periodos intermedios los procesos de deforestación y perturbación fueron los que mayor ocurrencia. En el periodo general (2001-2012) se deforestaron 1,911 ha y se perturbaron 1,710 ha y hubo revegetación de 228 ha (Tabla 3.6) (Figura 3.4).

Tabla 3.6 Procesos de cambio por periodo RBMM

Procesos de cambio	2001-2004		2004-2006		2006-2008		2008-2010		2010-2012		2001-2012	
	Ha	%										
Perturbación	532	40.81	351	62.07	672	52.30	550	38.22	174	42.64	1,710	43.83
Deforestación	518	39.72	132	23.43	499	38.85	655	45.57	190	46.69	1,911	48.99
Revegetación (bosques abiertos a bosques/vs)	0.00	0.00	0.57	0.10	0.00	0.00	152.86	10.63	1.49	0.37	6.67	0.17
Revegetación	126	9.68	78	13.74	26	2.05	61	4.27	21	5.03	228	5.83
Intensificación	127.73	9.79	3.72	0.66	87.28	6.79	18.92	1.31	21.55	5.28	45.55	1.17

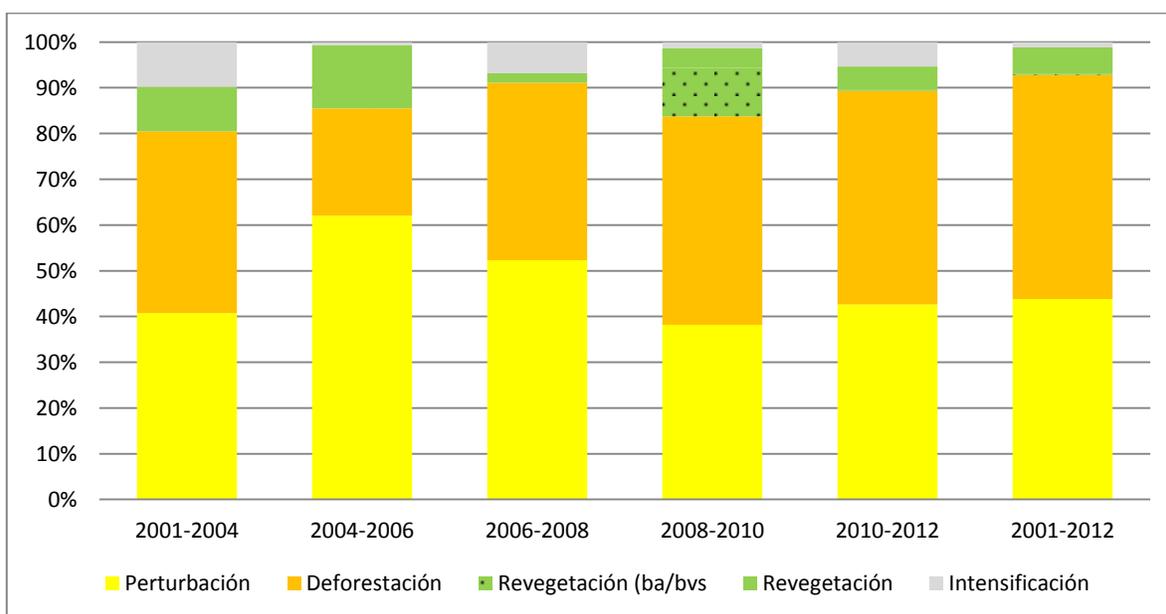


Figura 3.4 Procesos de cambio RBMM

Las cubiertas del suelo para cada año de análisis en relación con los límites vigentes de la RBMM se muestran en la siguiente figura 3.5.

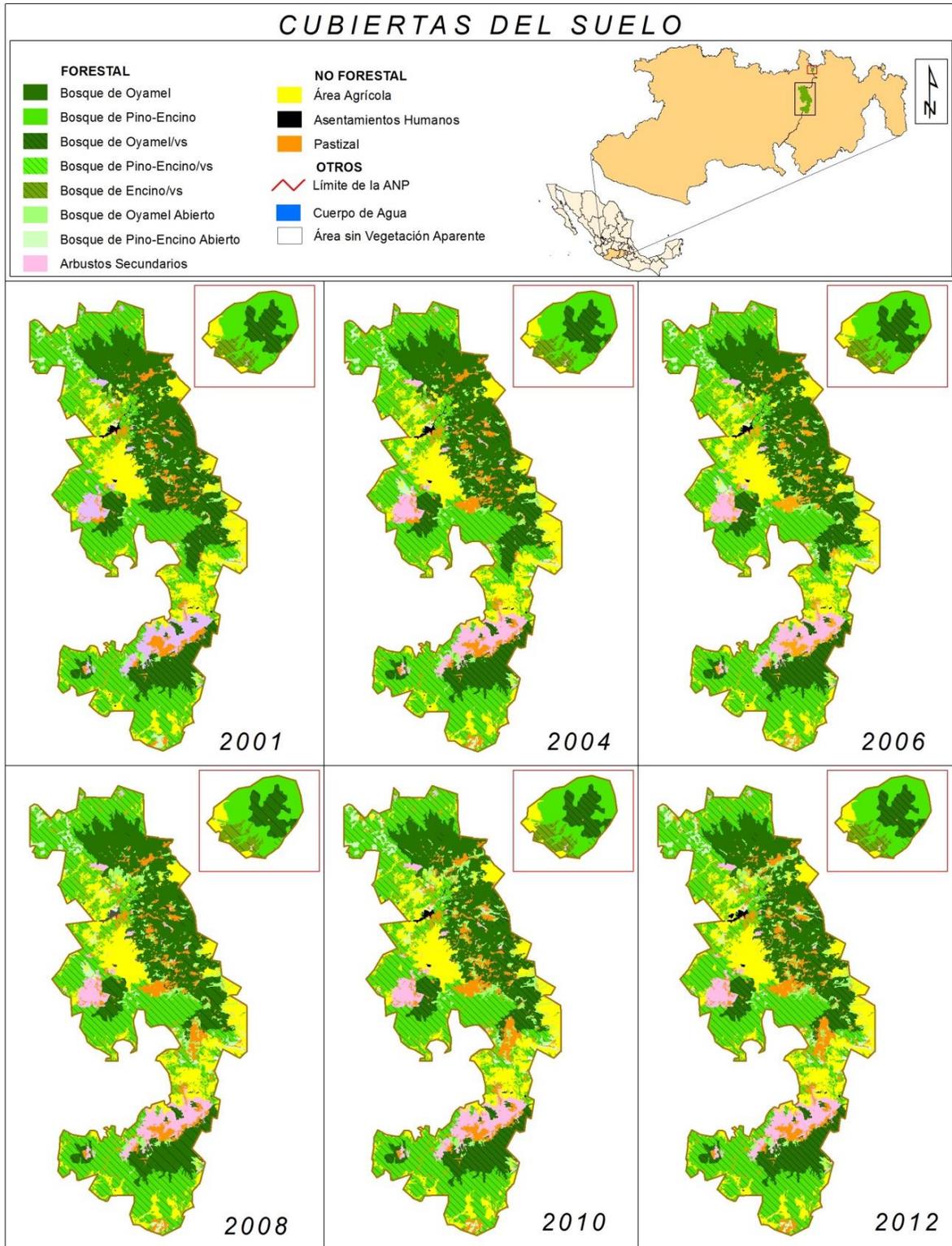


Figura 3.5 Cubiertas del suelo de la RBMM

Los procesos de cambio de las cubiertas del suelo para el periodo 2001-2012, de acuerdo a las subzonas del Programa de Conservación y Manejo vigente (DOF 2001), muestran

que el 44.5% de la deforestación y el 35.6% de la perturbación se ubican dentro de las zonas núcleo (Protección y Uso restringido) (Tabla 3.7).

Tabla 3.7 Procesos de cambio 2001-2012 en subzonas del PCM

Zonificación	Subzonas vigentes de acuerdo con PCM (2001)	Deforestación		Perturbación		Revegetación		Rotación	
		Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Zona Núcleo	Protección	824	43.13	585	34.20	42	18.01	3	6.19
	Uso Restringido	27	1.41	25	1.48	0	0.04	0	0.00
Subtotal		851	44.54	610	35.68	42	18.05	3	6.19
Zona de amortiguamiento	Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales	844	44.19	860	50.28	178	75.92	11	24.05
	Aprovechamiento Sustentable de Agroecosistemas	213	11.13	224	13.11	14	6.03	28	61.66
	Aprovechamiento Especial		0.00	1	0.05	0	0.00	1	3.05
	Uso Público	3	0.15	15	0.89	0	0.00	0	0.00
	Asentamientos Humanos	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	5.05
Subtotal		1,060	55.46	1,100	64.32	192	81.95	43	93.81
TOTAL DE CAMBIOS		1,911	100	1,710	100	234	100	46	100

Un balance general de los procesos de cambio en las cubiertas del suelo al interior de las unidades ambientales para el periodo general 2001-2012, muestra que en laderas muy incididas (31,579 ha) son las que tienen mayores afectaciones (2,924 ha), principalmente por deforestación (1,404 ha) y perturbación (1,353 ha) (Tabla 3.8) (Figura 3.6).

Tabla 3.8 Procesos de cambio por unidad ambiental 2001-2012

UNIDAD AMBIENTAL	Deforestación		Perturbación		Revegetación		Intensificación		Procesos Ha	Total/Unidades	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%		Ha	%
Laderas muy incididas	1,404	48.01	1,353	46.27	146	5.00	21	0.73	2,924	31,579	56.13
Laderas escasamente incididas	62	58.43	2	2.12	42	39.46		0.00	107	7,116	12.65
Domo volcánico	142	60.04	76	31.90	18	7.57	1	0.49	237	4,420	7.86
Piedemonte de flujos piroclásticos	74	76.44	12	12.67	10	10.51	0	0.38	97	3,499	6.22
Piedemonte coluvio-deluvial	32	32.48	36	36.68	9	9.20	21	21.64	97	3,414	6.07
Interfluvio cumbrial	83	38.04	130	59.53	5	2.42		0.00	218	2,767	4.92
Lomeríos	49	69.91	19	26.83	2	2.78	0	0.48	70	1,773	3.15
Laderas no volcánica	41	34.87	76	64.02	1	1.12		0.00	119	693	1.23
Mesetas de lava	24	73.75	7	20.93	0	1.14	1	4.18	32	708	1.26
Planicies					0					288	0.51
Cuerpo de agua										4	0.01
SUPERFICIE TOTAL DE LA RBMM										56,259	100

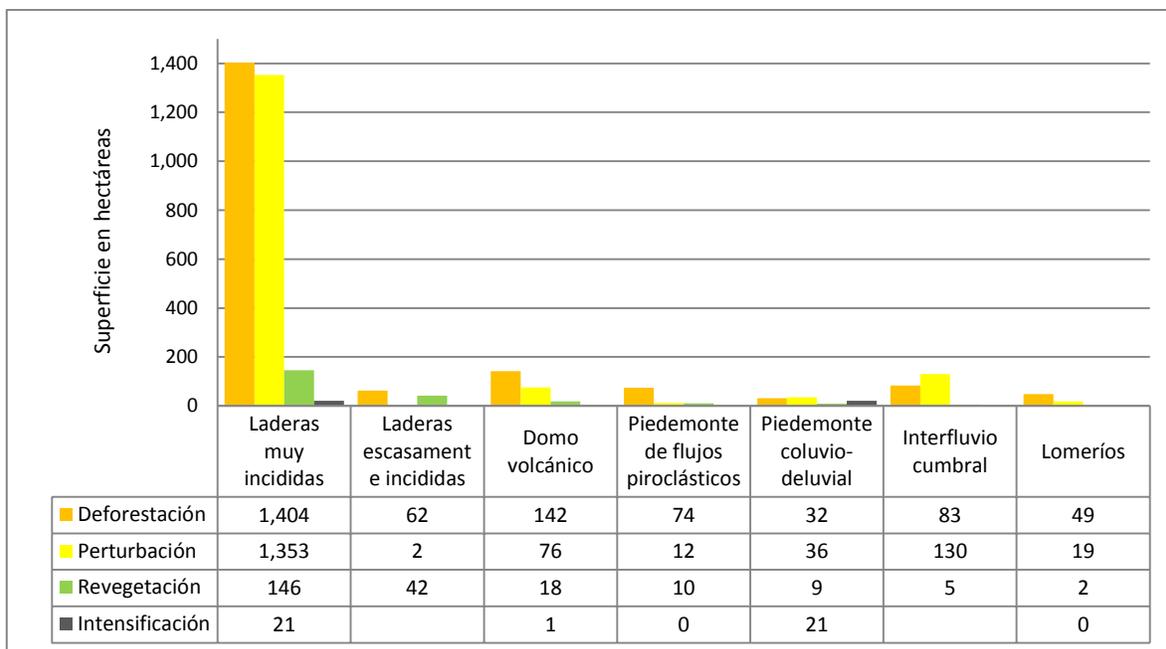


Figura 3.6 Procesos de cambio por unidad ambiental 2001-2012

Las transformaciones registradas en un periodo de 11 años apenas representan el 6.9% (3,900 ha) del territorio vigente de la RBMM, de las cuales 3,621 ha (6.4%) se registraron como procesos de deforestación y perturbación (cambios negativos). Estos cambios se encuentran principalmente en Sierra de Angangueo y CVZ de la RBMM, resaltando que se ubican al interior de las zonas núcleo. Los procesos de intensificación se presentaron por la reubicación de asentamientos humanos, provocado por los deslaves de febrero de 2010 en el poblado de Angangueo (Figura 3.7 y 3.8).

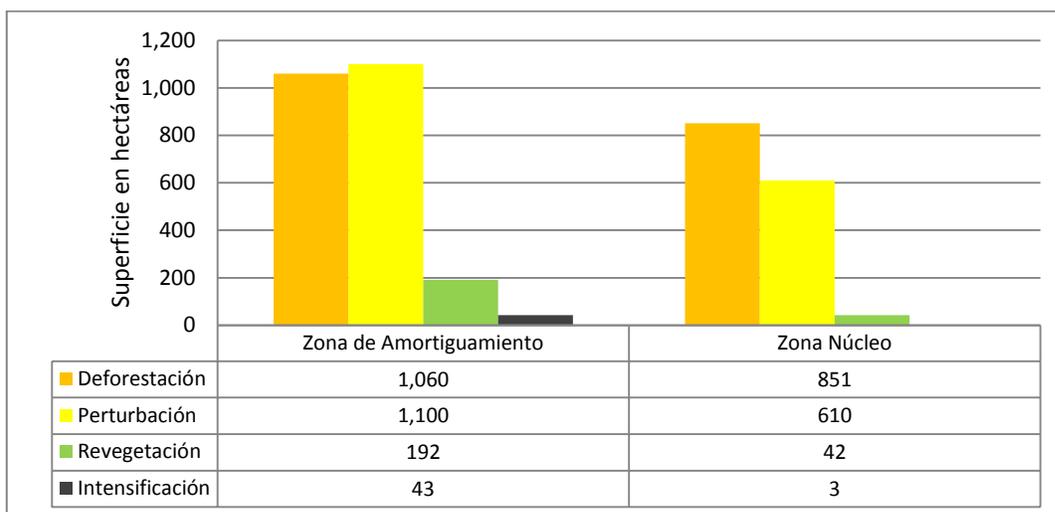


Figura 3.7 Procesos de cambio por zona núcleo de amortiguamiento

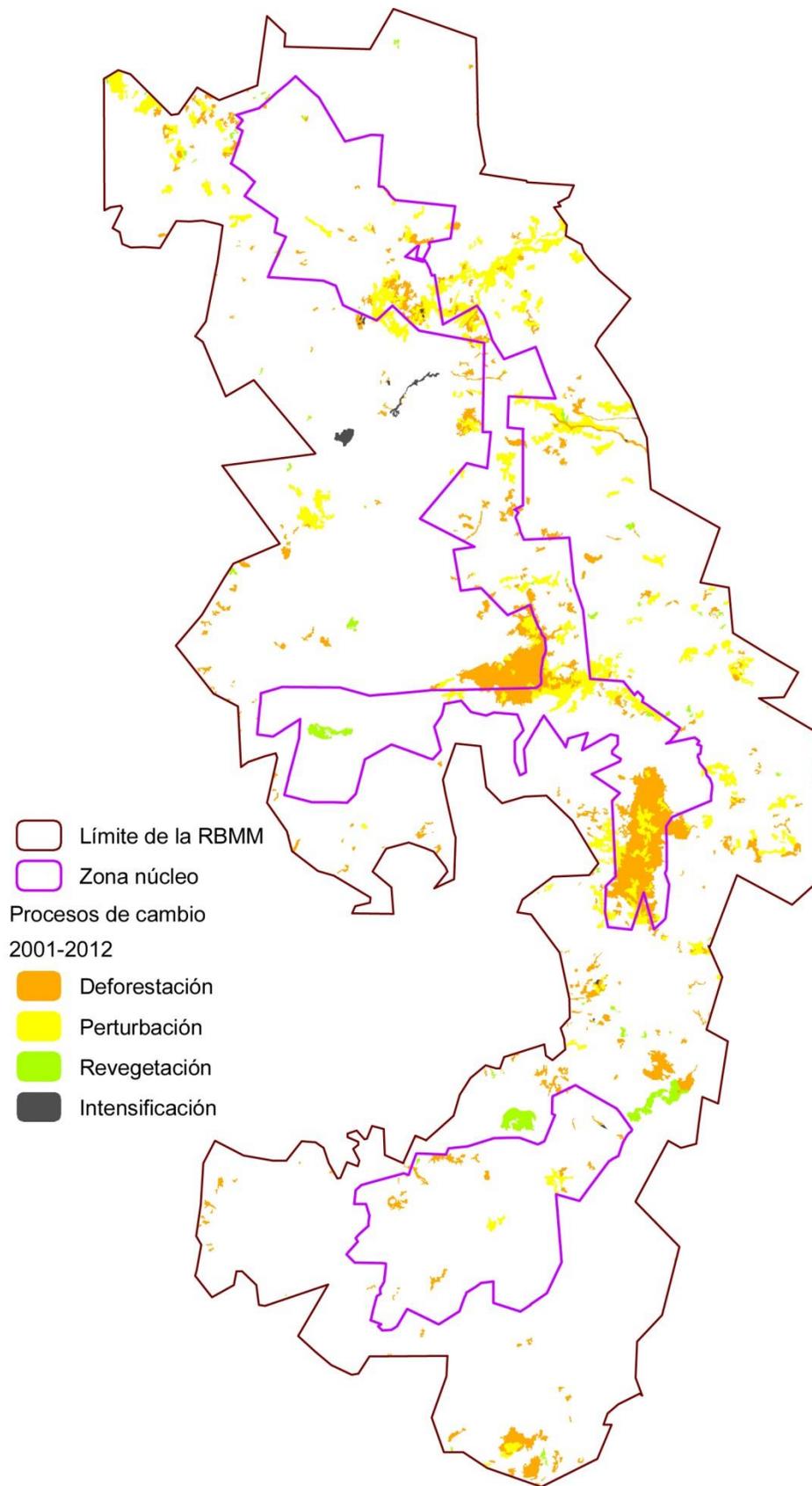


Figura 3.8 Procesos de cambio 2001-2012

Los procesos de cambio del periodo 2001-2012 para cada unidad ambiental de acuerdo con las zonas núcleo y de amortiguamiento de la RBMM se pueden revisar en la siguiente tabla (Tabla 3.9).

Tabla 3.9 Procesos de cambio 2001-2012 por unidad ambiental y zonificación

UNIDAD AMBIENTAL	Zona de Amortiguamiento		Zona Núcleo		TOTAL UNIDAD AMBIENTAL
	HA	%	HA	%	
Laderas muy incididas					31,579
Deforestación	691	49.25	712	50.75	1,404
Perturbación	827	61.15	525	38.85	1,353
Revegetación	139	98.58	1	0.71	141
Intensificación	20	92.18	2	7.82	21
Laderas escasamente incididas					7,116
Deforestación	49	79.19	13	20.81	62
Perturbación	2	100.00		0.00	2
Revegetación	9	20.80	33	79.20	42
Domo volcanico					4,420
Deforestación	117	82.21	25	17.79	142
Perturbación	76	100.00		0.00	76
Revegetación	16	102.96	1	9.23	16
Intensificación			1		1
Piedemonte de flujos piroclásticos					3,499
Deforestación	64	86.46	10	13.54	74
Perturbación	12	100.00			12
Revegetación	10	100.00			10
Intensificación	0				0
Piedemonte coluvio-deluvial					3,414
Deforestación	28	89.46	3	10.54	32
Perturbación	36	100.00			36
Revegetación	8	86.62	1	13.38	9
Intensificación	21	100.00			21
Interfluvio cumbral					2,767
Deforestación	23	27.94	60	72.06	83
Perturbación	65	50.39	64	49.61	130
Revegetación	3	62.38	2	37.62	5
Lomerios					1,773
Deforestación	45	93.21	3	6.79	49
Perturbación	18	97.97	0	2.03	19
Revegetación	2	100.00			2
Intensificación	0				0
Laderas no volcanica	624		69		693
Mesetas de lava	691		17		708
Planicies	285		2		288
Cuerpo de agua	4				4

En el periodo de 2001-2012 se deforestaron 1,404 ha en la unidad ambiental laderas muy incididas, 691 ha en zona de amortiguamiento y 712 ha en zona núcleo. En la misma unidad la perturbación se presentó en 827 ha en zonas de amortiguamiento y 525 ha en las zonas núcleo. Laderas muy incididas es la unidad con mayor superficie dentro de la RBMM y también es la unidad donde más modificaciones se han presentado en las cubiertas del suelo.

Estado de conservación RBMM

Los grados de conservación forestal se obtuvieron de toda la RBMM en relación con las unidades ambientales. Los datos registrados muestran que las laderas muy incididas, la

unidad con mayor superficie dentro de la RBMM(31,579 ha), tienen el 67% de la cubierta forestal con buen grado de conservación, el 8% regular, 4% malo y 4% fue convertido, mientras el 17% restante ya presentaba algún uso de suelo. Aunque la superficie de bosque categorizado con el grado de conservación malo y convertido tiene una representación baja, gran parte se ubican en las zonas núcleo (Tabla 3.10) (Figura 3.9).

Tabla 3.10 Estado de conservación forestal por unidad ambiental

ESTADO DE CONSERVACIÓN POR UNIDAD AMBIENTAL	Bueno		Regular		Malo		Convertido		Usos no forestales		TOTAL	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Laderas muy incididas	21,312	67.49	2,514	7.96	1,353	4.28	1,404	4.44	4,996	15.82	31,579	56.13
Laderas escasamente incididas	5,419	76.16	859	12.07	2	0.03	62	0.88	773	10.86	7,116	12.65
Domo volcánico	3,202	72.44	710	16.07	76	1.71	142	3.22	290	6.56	4,420	7.86
Piedemonte de flujos piroclásticos	1,530	43.72	138	3.95	12	0.35	74	2.12	1,745	49.86	3,499	6.22
Piedemonte coluvio-deluvial	1,554	45.53	148	4.34	36	1.04	32	0.92	1,644	48.16	3,414	6.07
Interfluvio cumbral	2,025	73.19	163	5.88	130	4.69	83	3.00	367	13.25	2,767	4.92
Lomerios	316	17.82	119	6.70	19	1.06	49	2.75	1,271	71.68	1,773	3.15
Laderas no volcanica	341	49.23	2	0.29	76	10.98	41	5.98	232	33.53	693	1.23
Mesetas de lava	337	47.65	1	0.18	7	0.96	24	3.38	339	47.82	708	1.26
Planicies	35	12.23	0	0.15		0.00		0.00	252	87.62	288	0.51
Cuerpo de agua											4	0.01
TOTAL DE SUPERFICIE DE LA RBMM											56,259	100

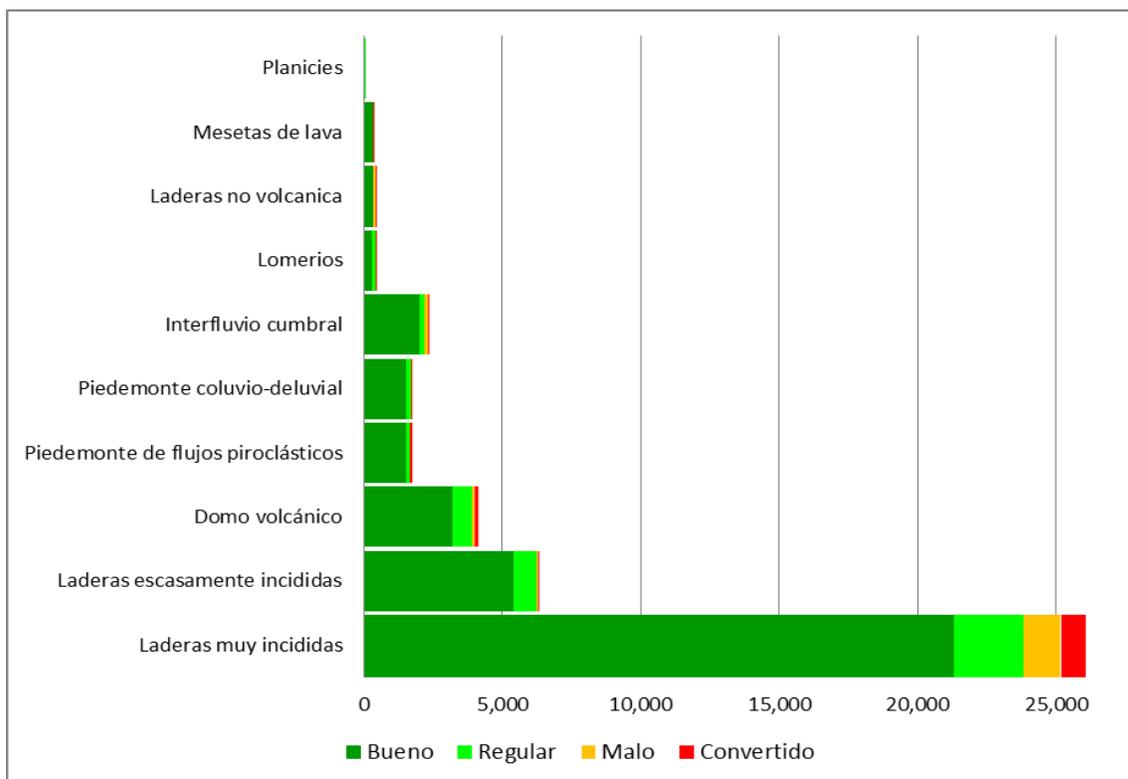


Figura 3.9 Superficie del estado de conservación forestal por unidad ambiental

La grados de conservación “malos y convertidos” en relación con la zonificación, muestran que se ubican en buena proporción al interior de las zonas núcleo (Figura 3.10).

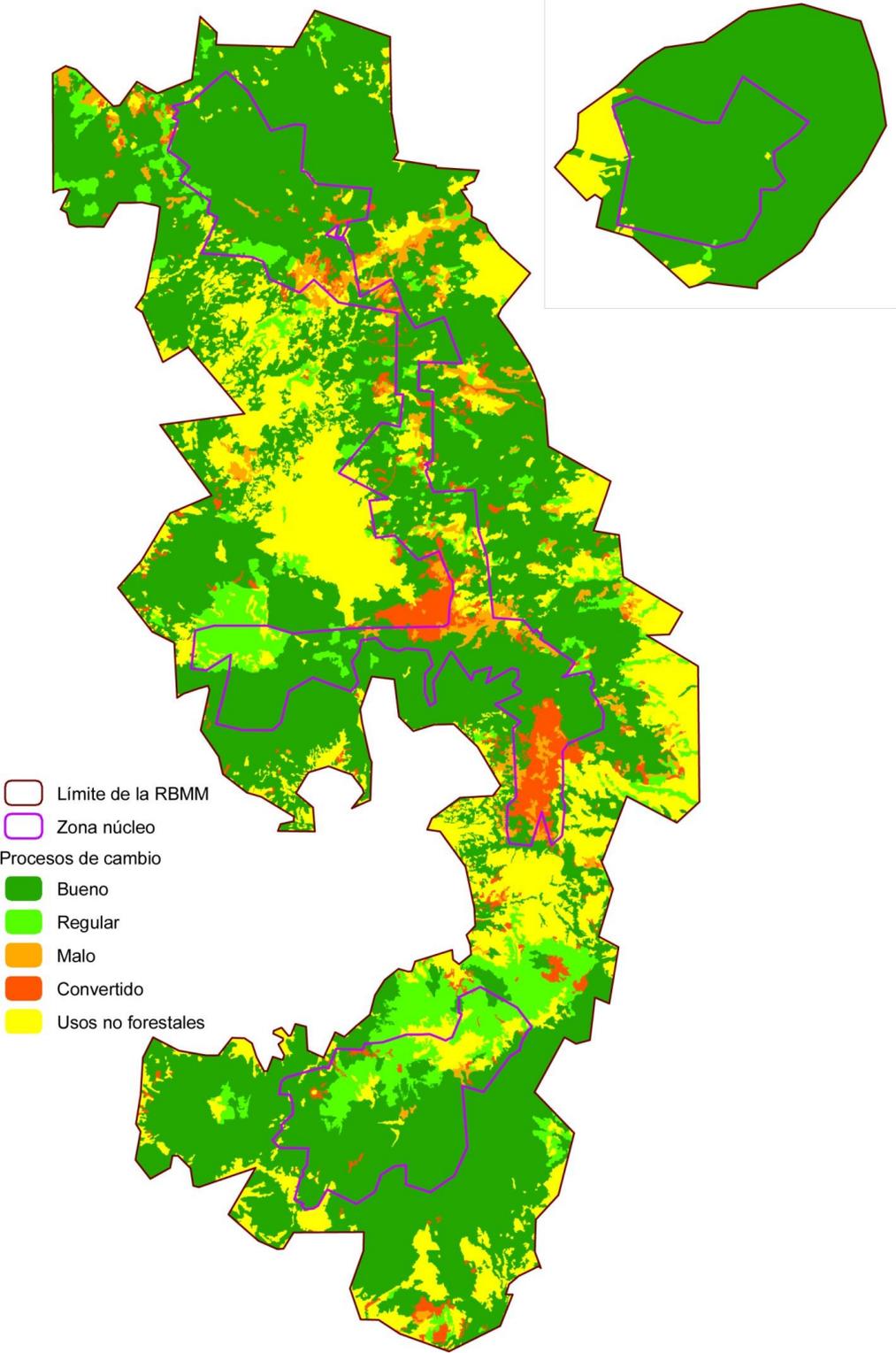


Figura 3.10 Estado de conservación forestal en la RBMM

Geoportál RBMM

El servicio de información espacial para la RBMM se ubica físicamente en la infraestructura de cómputo del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA). La plataforma de gestión de contenido Web *Drupal* tiene la dirección electrónica con el dominio <http://geomm.ciga.unam.mx/>. La interfaz se personalizó de acuerdo con el tema de la RBMM (Fig. 3.11).



Figura 3.11 Interfaz de Geoporta con *Drupal*

La visualización Web es mediante peticiones de información. Las peticiones son procesadas en el servidor basándose en las herramientas de *Mapguide* y regresando el dato espacial solicitado. A nivel de los dispositivos clientes que se conectan a *MapGuide*, el usuario visualiza y hace peticiones de la información espacial a través de un visor de mapas *AJAX* (*Asynchronous JavaScript And XML*) el cual permite hacer peticiones asincrónicas al servidor, lo que significa que el usuario solicita información en segundo plano sin bloquear la página y tener que esperar a cada petición (Gómez 2013).

A *AJAX* también se le conoce como *DHTML* (*Dynamic HTML*) o *HTML* dinámico (*HyperText Markup Language*) que es básicamente *HTML* más *Javascript*, fundamentalmente es un sistema de técnicas que permiten crear páginas Web interactivos (Gómez 2013) (Figura 3.12).

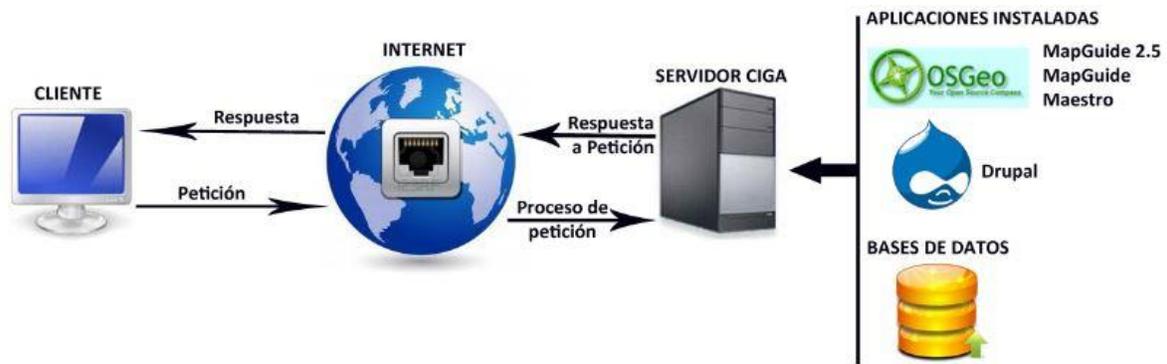


Figura 3.12 Arquitectura de Geoportal

Para acceder al Geoportal es necesario crear una cuenta de inicio, se configuró de esta forma con la intención de tener un registro de usuarios interesados en los temas relacionados con la RBMM. Además con la identificación de los usuarios se podrá promover la interoperabilidad por medio de los permisos otorgados. De esta forma se identifica a usuarios que pueden consultar, editar, publicar, o tener la autorización de administrar el Geoportal.

Hasta ahora el Geoportal presenta temas básicos de la RBMM, se hizo el apartado de "Área de Estudio" donde se hace una breve explicación de los límites del área y de las unidades del paisaje. Existe un apartado de "Cubiertas del suelo de la RBMM" donde se muestran los insumos y resultados que se obtuvieron en este trabajo, y finalmente una sección para la plataforma *NATMPS*. Todos los temas tienen vínculos en el visualizador de información espacial.

Para la publicación de información espacial en el visualizador del portal, se usaron los parámetros cartográficos "*Web Mercator*" también conocido como *Pseudo Mercator*, esto para tener como base espacial los insumos de Google (*Satellite, Streets, Physical, Hybrid*). Con las capas de información generadas en este proyecto se utilizaron los parámetros cartográficos correspondientes al área (Fig. 3.13).

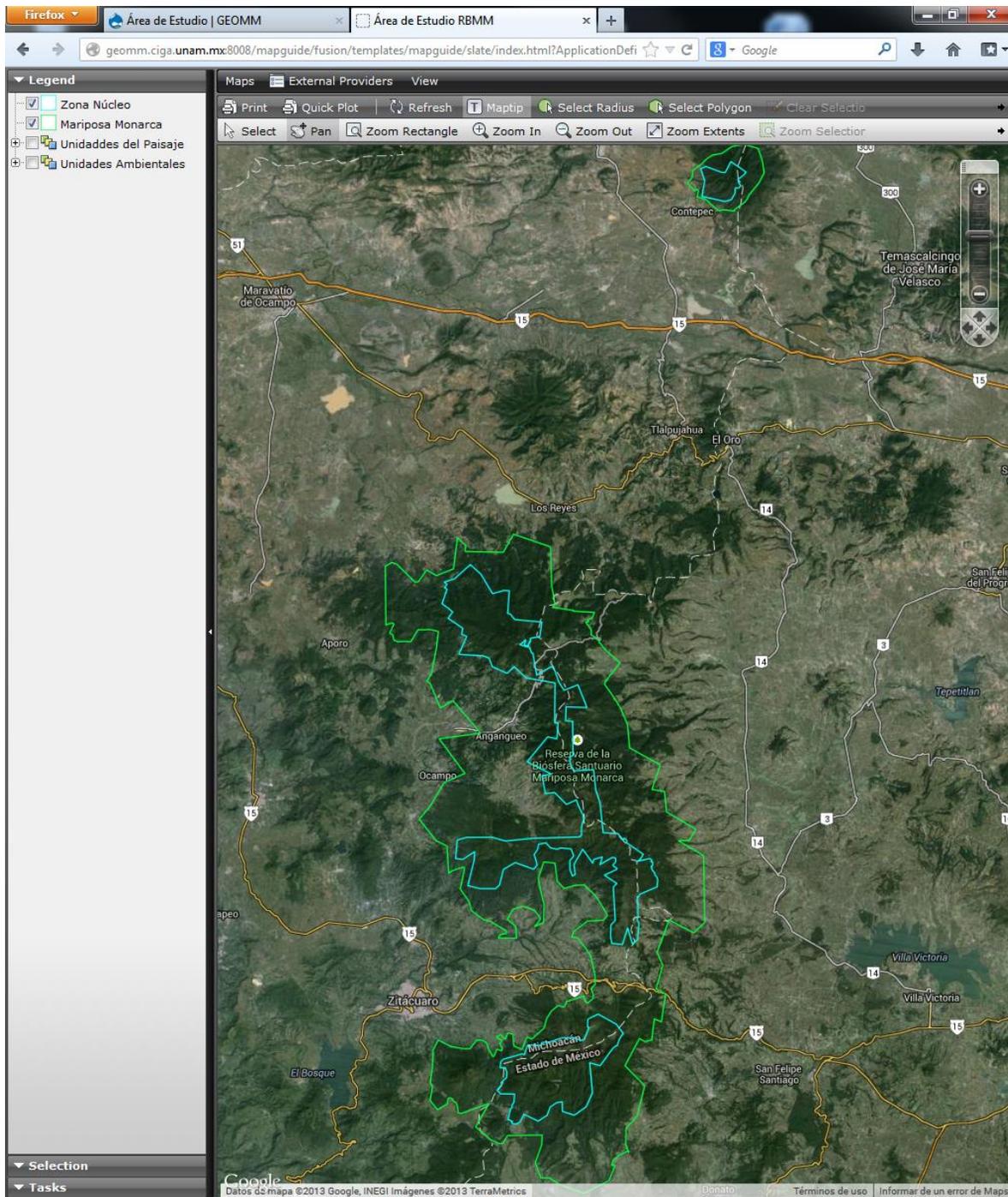


Figura 3.13 Interfaz del usuario *MapGuide*

Hasta el momento el Geoportal se encuentra con las bases cartográficas espaciales que publica *Google*. En cada tema publicado el visualizador de *MapGuide* incluye las capas *Streets* que es el mapa toponímico del área con las principales vías de comunicación, *Satellites* son escenas de satélite de alta resolución espacial, y la capa *Hybrid* que incluye las imágenes de satélite con el mapa toponímico. De acuerdo al tema que se publique, las

capas de *Google* se activaron o no, esto para resaltar los elementos que requieran relevancia.

En la interfaz de visualización de información espacial de *MapGuide* se incluyen distintas herramientas básicas de exploración y análisis (Tabla 3.11).

Tabla 3.11 Herramientas básicas de *MapGuide*

Visualización	Función
Pan	Desplazamiento
Zoom Rectangle	Acercar por ventana
Zoom in	Acercar
Zoom out	Alejar
Zoom Extents	Extensión total
Zoom Selection	Acercar a selección
Análisis	Función
Measure	Medida (distancia, superficies)
Buffer	Creación de áreas de influencia
Query	Búsquedas por atributos
Theme	Genera máscaras con los elementos desplegados
Redline	Dibujo a mano alzada
Options	Selecciona las unidades de medida

Actualmente existen restricciones severas sobre cómo se debe usar el servicio de información espacial de *Google* por terceros. Desde 2012 *Google* cambió la política de uso de su producto *Google Maps* donde si existe un tráfico diario de más de 25,000 mapas básicos (*Satellite, Streets, Physical, Hybrid*) o 2,500 avanzados (mapas personalizados) entonces existe un costo por su uso (Gómez 2013). Por esta razón cuando se usan las herramientas para imprimir se desactivan las capas de *Google* (*Satellite, Streets, Physical, Hybrid*).

El vínculo para el sistema para publicación de mapas *NATMAPS* se estableció desde el Geoportal <http://geommm.ciga.unam.mx/>. La información que se incorporó corresponde a los límites administrativos de la RBMM, incluyendo la zonificación y una capa de tipo de cambio preliminar para el periodo general 2001-2012 (Fig. 3.14).

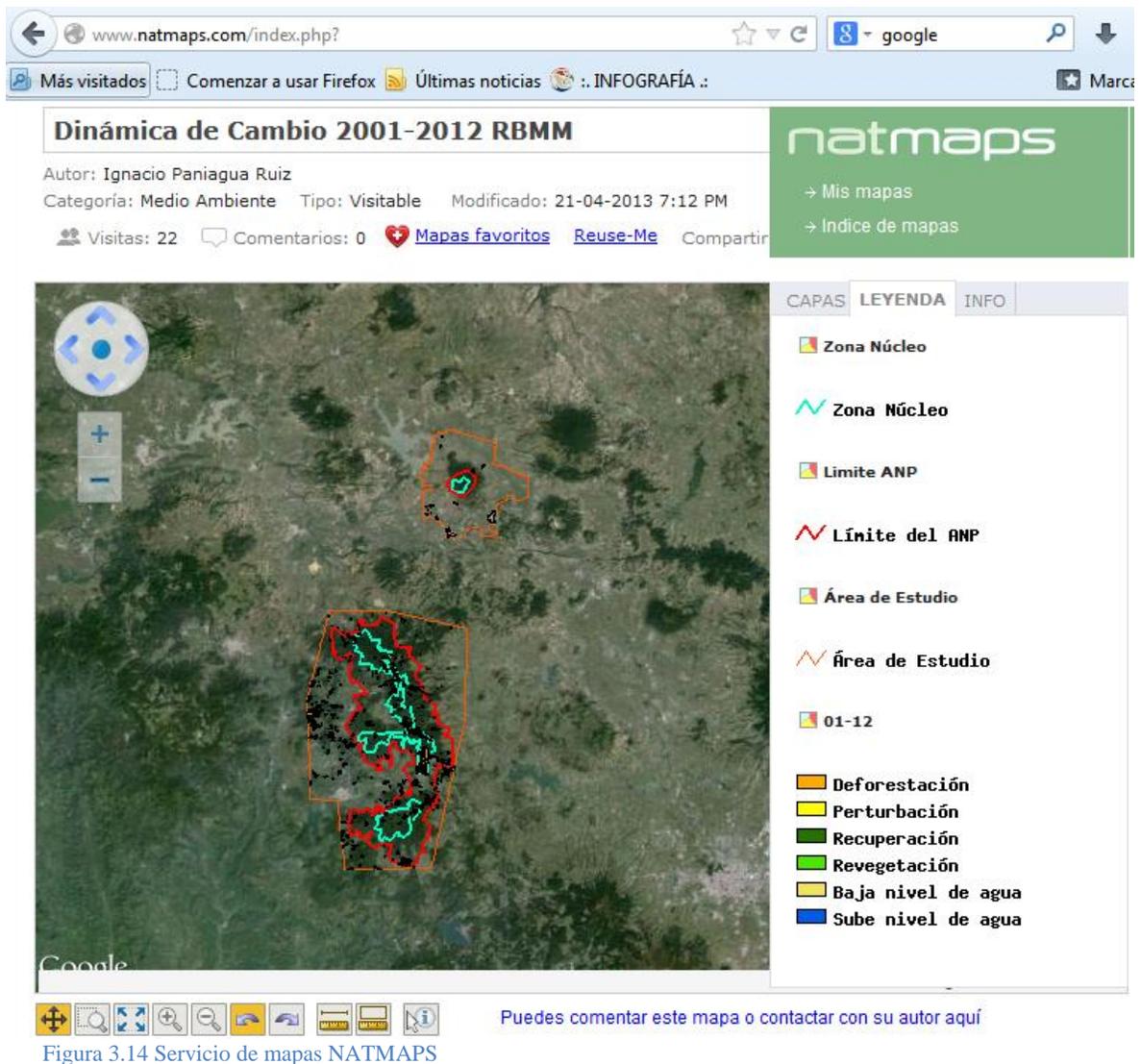


Figura 3.14 Servicio de mapas NATMAPS

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La discusión de este trabajo se centra principalmente en conocer el funcionamiento de los instrumentos de política ambiental implementados en la región de la mariposa monarca, esto con las variables cubiertas del suelo y la dinámica de cambio que ha existido a partir de la fecha del establecimiento de dichos instrumentos: Decreto de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca año 2000 (DOF 2000), zonificación del Programa de Conservación y Manejo año 2001 (DOF 2001).

En la generación de los datos de las cubiertas del suelo se utilizaron insumos de percepción remota, las fechas de análisis dependen de la disponibilidad de las imágenes, por lo tanto en este trabajo se reportan resultados a partir del año 2001 (imágenes LANDSAT ETM+) que coincide con la publicación del PCM.

Varios autores reportaron sus resultados de las condiciones de las cubiertas del suelo y la dinámica de cambio que se ha presentado al interior de la RBMM (Ramírez 2001a, Ramírez y Zubieta 2005, Ramírez et al. 2007, Carranza 2012, Vidal et al. 2013). Cada autor ha usado insumos distintos: imágenes de satélite (LANDSAT, SPOT, ASTER), fotografía aérea convencional, fotografía aérea digital, levantamientos de inventarios en campo; y también se basaron en métodos diferentes: fotointerpretación, clasificaciones automatizadas, interpretación interdependiente, análisis NDVI. Algunos autores cubrieron el total de la RBMM (Ramírez 2001a, Ramírez y Zubieta 2005, Ramírez et al. 2007), otros se concentraron en el interior de las zonas núcleo (Carranza 2012, Vidal et al. 2013).

El trabajo de Vidal et al. (2013) que coinciden con este documento en el periodo general de análisis 2001-2012, solo trabajaron en las zonas núcleo, registrando la deforestación de 1,254 ha y la perturbación de 925 ha. Mientras que en este trabajo en las zonas núcleo se encontraron procesos de deforestación en 851 ha y 610 ha por perturbación en el periodo de 11 años.

La diferencia en los datos podría explicarse a que se utilizaron insumos y métodos distintos para la generación de las cubiertas del suelo, mientras Vidal et al. (2013) se basaron en la fotointerpretación de fotografías aéreas digitales e imágenes de satélite, en

este trabajo se utilizó el método híbrido únicamente con imágenes de satélite, lo que podría indicar mayor consistencia en los resultados. En ambos resultados es evidente la constante pérdida de bosques debido a procesos de deforestación y perturbación al interior de las zonas núcleo.

Se debe resaltar que los resultados de cambio en las cubiertas del suelo para la RBMM de los distintos autores (Ramírez 2001a, Ramírez y Zubieta 2005, Ramírez et al. 2007, Carranza 2012, Vidal et al. 2013), desde los más antiguos hasta los más recientes, todos coinciden con que existe una constante pérdida de las cubiertas forestales provocados principalmente por actividades humanas.

Los resultados de las cubiertas del suelo y la dinámica de cambio de este trabajo se contrastaron con las subzonas de manejo del PCM vigente y se detectó que en el periodo 2001-2012 se deforestaron 851 ha y se perturbaron 610 ha dentro de las zonas núcleo, en donde de acuerdo a las normas establecidas, se prohíbe cualquier actividad que altere el hábitat (DOF 1988, 2001).

En la subzona de “Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales” se permiten actividades de manejo y aprovechamiento de los recursos en apego a las normas específicas de conservación y restauración establecidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). En 11 años esta subzona fue donde se registraron las mayores modificaciones por deforestación con 844 ha y la perturbación de 860 ha con sólo 178 ha con proceso de revegetación, estos resultados indican que hay un desequilibrio en relación con trabajos de conservación y restauración que son requeridos.

La siguiente subzona con las modificaciones más relevantes es “Aprovechamiento Sustentable de Agroecosistemas” donde se permiten actividades de agroforestería y silvopastoriles entre otras. Durante el periodo 2001-2012 se deforestaron 213 ha y se perturbaron 224 ha y sólo hubo revegetación en 14 ha, lo que muestra la fuerte presión que ejercen las actividades permitidas sobre los recursos forestales, sin dar oportunidad que exista una recuperación de las cubiertas forestales.

Conocer la situación de las cubiertas del suelo en relación con las unidades ambientales da la posibilidad de comprender el funcionamiento ecológico del sistema que ha sido

sometido a la presión por actividades humanas. Dentro de la RBMM la unidad “Laderas muy incididas” es la cubre mayor superficie (56.13%), y es la que presenta las mayores modificaciones (Deforestación 1,404 ha, Perturbación 1,353 ha, Revegetación 146 ha, Intensificación 21 ha).

La unidad “Laderas muy incididas” de acuerdo con los resultados de Ramírez (2001b) para el periodo de 1971-1994 (23 años) se presentó una tasa de deforestación del 0.1%. Posteriormente (Ramírez 2001) actualizó al año 2000 y calculó la tasa de deforestación para todo el territorio de la monarca en 0.2%. En los resultados de este proyecto para el periodo 2001-2012 (11 años), dentro de la unidad “Laderas muy incididas” se calculó una tasa de cambio de 0.44%, lo que hace evidente el aumento en la pérdida de cubiertas forestales dentro de la RBMM.

De acuerdo al diagnóstico realizado por Ramírez (2001b), la unidad “Laderas muy incididas” tiene las siguientes características generales:

- Se ubica en la mitad superior de las laderas formadas por materiales volcánicos terciarios, andesitas y basaltos, de pendientes fuertes. Sobre la casi totalidad de dichas laderas se han desarrollado suelos de tipo andosol, de perfil poco diferenciado, profundos, ligeramente ácidos y bien drenados. Excepto en los escarpes y en algunas cimas en donde se presentan suelos poco evolucionados de tipo litosol, debido a las fuertes pendientes que propician una fuerte erosión.
- Presenta un clima que se clasifica como supratropical inferior húmedo, el cual se caracteriza en este sitio por una precipitación total anual en torno de los 900 mm y por sus temperaturas frescas todo el año, donde, incluso en el mes más cálido, la media no supera los 15°C. En los meses de invierno la probabilidad de heladas es muy elevada, especialmente por arriba de los 3000 metros de altitud. Aun así, las temperaturas mínimas extremas rara vez descienden de los -3°C.

Con estas características se puede inferir que debido a las pendientes pronunciadas con procesos de deforestación, se provoca que los suelos de tipo andosol que generalmente presentan una buena permeabilidad y con ello resistencia a la erosión hídrica, en situaciones de deforestación y en extrema sequía el material de la superficie se desmorone en gránulos duros que son fácilmente removidos por escorrentía superficial.

De esta forma queda claro que el impacto que genera la pérdida de cubierta forestal se refleja en la alteración de los otros elementos del paisaje, generando la posible modificación de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas.

En la evaluación hecha por Adame (2008) para identificar qué aplicaciones *Open Source* presentan las características más óptimas para el usuario sin perfil informático especializado este en posibilidades de construir una plataforma de difusión de información espacial por el web; se determinó que *Geoserver* y *Mapserver* eran los indicados. Sin embargo para este proyecto utilizó la aplicación *MapGuide Open Source 2.5* y *MapGuideMaestro 5.0 beta*.

En el 2008 Adame concluyó que *MapGuide Open Source* no era de las aplicaciones más óptimas para usuarios sin perfil informático especializado, entre otras cosas no soportaba todos los formatos, sólo se podía instalar en sistemas operativos *Unix* y esto reducía la posibilidad de interoperabilidad. Sin embargo actualmente *MapGuide Open Source* es compatible con Windows, soporta la mayoría de los formatos y es muy amigable con el usuario con poca experiencia, además que en la red existe todo el soporte técnico que se requiere para que el uso de esta herramienta sea totalmente replicable.

Las conclusiones a las que se han llegado se presentan a continuación.

- En el periodo de análisis general 2001-2012 las cubiertas del suelo de la RBMM se transformaron con 3,900 ha en total, de las cuales 1,710 ha por procesos de perturbación (43.83% de los cambios), 1,911 ha (48.99%) por deforestación, la revegetación se dio en 234 ha (6%) (Incluyendo el cambio de bosques abiertos a bosques con vegetación secundaria) y por intensificación 45 ha (1.17%). Cerca del 93% de la superficie transformada se debe a procesos negativos (deforestación-perturbación).
- En el periodo general de análisis 2001-2012 hubo una pérdida neta por procesos de deforestación 1,683 ha con una TT del 0.35% y a una velocidad promedio de 135 hectáreas al año.
- Al interior de la RBMM hay una dinámica de cambio negativa acelerada a partir del año 2004, donde las áreas afectadas por la tala se incrementaron paulatinamente hasta el año 2010, y al año 2012 se registró una disminución en la pérdida de

cubiertas forestales. Vidal et al. (2013) explican que la disminución en la pérdida de cubiertas forestales se debe a la implementación de programas de actividades sostenibles que han sido implementados.

- La dinámica de cambio de las cubiertas del suelo en relación con las unidades ambientales de Ramírez (2001b) y Altamirano (2009) muestra que en la unidad “Laderas muy incididas” es donde mayor modificación existe, siendo los cambios negativos los que prevalecen principalmente en la proporción correspondiente a la zona núcleo de la RBMM, donde el PCM en apego a la normatividad vigente, no permite ninguna actividad que modifique el hábitat de la mariposa monarca
- Para el periodo 2001-2012 la mayor parte de los bosques de la RBMM presenta un buen estado de conservación (64%), los bosques que han sido afectados por procesos de cambio negativo (estado de conservación malo 3%, convertidos 3%) se encuentran ubicados en las zonas núcleo.
- El geoportal es la plataforma Web de integración y acceso a la información que facilita la identificación, selección y exploración de datos y servicios producidos en este proyecto sin la necesidad de tener un programa especializado en el manejo de información espacial instalado en el equipo del usuario.
- Para el Geoportal <http://geomm.ciga.unam.mx/drupal/> los *software MapGuide Open Source 2.5, MapGuideMaestro 5.0 beta y Drupal*, facilitaron el proceso de construcción, pues tienen la cualidad de ser amigables para el administrador que no cuenta con un perfil informático avanzado.
- La instalación de los *software MapGuide Open Source 2.5, MapGuideMaestro 5.0 beta y Drupal* en el servidor del CIGA facilitó la gestión de la información espacial. Sin embargo los requerimientos para la instalación de estos *software OpenSource* actualmente tienen la capacidad de ser compatibles con equipos de cómputo personales con sistemas operativos *Linux y Microsoft Windows*.
- *NATMAPS* tiene la plataforma básica para la publicación de datos espaciales. No requiere la instalación de ningún *software*. Cuando no se tiene la infraestructura mínima para un servidor de información espacial, es ampliamente recomendado utilizar *NATMAPS*.
- *NATMAPS* presenta algunas debilidades, entre las más destacadas se puede mencionar la seguridad de los datos, pues se deben de subir al servidor *NATMAPS* pero nunca se sabe en dónde quedan físicamente, no existe la posibilidad de tener un control total de los foros de discusión incluidos para cada

tema que se publique, lo cual incrementa el riesgo a la subjetividad de comentarios, la ventana del visualizador de datos espaciales es pequeña y no se encontró la manera de aumentar el tamaño; sólo cuenta con herramientas para la exploración de datos, medidas y formas a mano alzada.

Bibliografía

- Adame, R. 2008. «Análisis comparativo de Servidores de Mapas con interfases Web de libre distribución, para el proyecto “Sistema de Monitoreo para la Deforestación en México”». Morelia, Michoacán, México: Instituto Tecnológico de Morelia.
- Aldana, A., y J. Bosque. 2008. «Evaluación de la zonificación de uso del Parque Nacional Sierra de La Culata, Mérida-Venezuela». *Revista Forestal Latinoamericana* (23 (1)): 9-34.
- Altamirano, L. 2009. «Unidades ambientales del complejo Pelón-Cacique, Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca: Estado de conservación y tendencia». Morelia, Mich., México: Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Arcilla, M. 2003. *Sistemas de Información Geográfica y Medio Ambiente: Principios Básicos*. España: Universidad de Cádiz Servicio de Publicaciones.
- Berry, M. W., R.O. Flamm, B.C. Hazen, y R.L. MacIntyre. 1996. «The Land-Use Change and Analysis System (LUCAS) for Evaluating Landscape Management Decisions». *IEEE Computational Science & Engineering* 3 (1): 24-35.
- Bertrand, G. 1968. «Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique». *Geographique des Pyrénées et du Sud-Oues* (39): 249-272.
- . 1978. «La géographie physique contre nature?». *Herodote* (12): 77-96.
- Bocco, G., M. Mendoza, A.G. Priego Santander, y A. Burgos. 2010. *La cartografía de los sistemas naturales como base geográfica para la planeación territorial*. 1a ed. 300 vols. Planeación Territorial. México, D.F.: Progreso, S.A. de C.V.
- Bocco, G., M. Mendoza, A. Velázquez, y A. Torres. 1999. «La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica en México. El caso de Michoacán de Ocampo». *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía* (40): 7-22.
- Bollo, M.M., y J.R. Hernández. 2008. «Paisajes físico-geográficos del noroeste del estado de Chiapas, México». *Investigaciones geográficas* (66): 7-24.
- Bolós, M. 1992. *Manual de ciencia del paisaje. Teoría, métodos y aplicaciones*. Primera edición. Colección de Geografía. Barcelona, España: Masson.
- Boulos, M. N. 2005. «Web GIS in Practice III: Creating a Simple Interactive Map of England's Strategic Health Authorities Using Google Maps API, Google Earth KML, and MSN Virtual Earth Map Control». *International Journal of Health Geographics* 4 (22): 1-8. doi:10.111186/1476-072X-4-22.
- Campos, M, A. Toscana, J. Monroy, y H. Reyes. 2010. «Visualizador Web de información cartográfica de amenazas naturales». *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Instituto de Geología, UNAM* 63 (1): 71-82.
- Campos, S.M., y S. A. Priego. 2011. «Biophysical landscapes of a coastal area of Michoacán state in Mexico». *Journal of Maps* 7:1: 42-50.
- Cantú, C., G. Wright, M. Scott, y E. Strand. 2004. «Assessment of current and proposed nature reserves of Mexico based on their capacity to protect geophysical features and biodiversity». *Biological Conservation* 115: 411-417.
- Capra, L., J.L. Macías, y V.H. Garduño. 1997. «The Zitácuaro Volcanic Complex, Michoacán, México: magmatic and eruptive history of resurgent caldera». *Geofísica Internacional* 36 (3): 161-179.
- Carranza, J. 2012. «Trabajo Fin de Master: Protocolo para el monitoreo de la zona núcleo en la reserva de la biosfera Mariposa Monarca, México». España: Facultad de Geografía e Historia. Universidad Complutense de Madrid.

- Chuvieco, E. 1990. *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid, España: Madrid : Rialp, D.L.1990. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=245221>.
- . 2008. *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. 3a ed. Barcelona, España: Ariel Ciencia.
- Cifuentes, M., A. Izurieta, H. Henrique de Faria, y CC. R Turrialba. 2000. *Medición de la efectividad del manejo de áreas protegidas*. Técnica 2. Costa Rica: WWF: IUCN: GTZ.
- CONANP. 2012. «Áreas Naturales Protegidas Decretadas». http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/.
- Corrales, L. 2004. «Midiendo el éxito de las acciones en las áreas protegidas de Centroamérica: Medición de la Efectividad de Manejo». PROARCA/APM. Guatemala de la Asunción, Guatemala.
- Cracco, M.J., J. Calvopiña, M. M. Courrau, I. Medina, J. Oetting, R. Surkin, P. Ulloa, y P. Vásquez. 2006. *Fortalecimiento de la efectividad de manejo de áreas protegidas en los Andes. Análisis comparativo de herramientas existentes*. Quito, Ecuador: UICN.
- Cuba, A., D. Valle, M. Mayo, J. Arce, y J. Huerta. 2006. «Evaluación de la primera fase del plan maestro 2003-2007 del parque nacional Huascarán PP N°006-2005-PRFNP».
- DOF. 1980. «Decreto por el que por causa de utilidad pública se establece zona de reserva y refugio silvestre los lugares donde la mariposa conocida con el nombre de “Monarca” hiberna y se reproduce».
- . 1986. «Decreto por el que por razones de orden público e interés social, se declaran áreas naturales protegidas para los fines de la migración, invernación y reproducción de la mariposa Monarca, así como la conservación de sus condiciones ambientales la superficie de 16,110-14-50 hectáreas, ubicadas en los municipios que se indican, pertenecientes a los Estados de Michoacán y del Estado de México.»
- . 1988. «Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Última Reforma DOF 01 de junio de 2012.»
- . 2000. «Decreto por el que se declara Área Natural Protegida, con carácter de reserva de la biosfera a la región Mariposa Monarca». Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- . 2001. «Programa de Conservación y Manejo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca».
- Dudley, N. 2008. «Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas». UICN. <http://190.11.224.74:8080/jspui/bitstream/123456789/2202/1/PAPS-016-Es.pdf>.
- Ehrensperger, A., D. Wymann Von, y F. Kakridi. 2007. «Tecnologías de información geográfica para el manejo de los recursos naturales». *InfoResources Focus* (3/07): 16.
- FAO. 1996. *Forest Resources Assessment 1990. Survey of Tropical Forest Cover and Study of Change Processes*. Vol. 130. FAO Forestry Paper. Italy, Rome. <http://www.fao.org/docrep/007/w0015e/w0015e00.htm>.
- . 2001. *Global Forest Resources. Assessment 2000. Main Report*. FAO Forestry Paper. Italy, Rome. <http://www.fao.org/forestry/fra/2000/report/en/>.
- . 2005. «Evaluación de los recursos forestales mundiales (FRA 2005)». Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Figuerola, F., y V. Sánchez-Cordero. 2008. «Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico». *Biodiversity and Conservation* 17: 3223-3240. doi:10.1007/s10531-008-9423-3.
- Figuerola, F., V. Sánchez-Cordero, P. Illoldi-Rangel, y M. Linaje. 2011. «Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio en el uso de suelo y la vegetación. ¿Un índice es suficiente?» *Revista Mexicana de Biodiversidad* (82): 951-963.

- Fleming, C. 2005. *The GIS Guide for Local Government Officials*. Environmental Systems Research Institute Inc.
- García, A., y J. Muñoz. 2002. *El paisaje en el ámbito de la Geografía*. Temas selectos de la Geografía en México III.2. México, D.F.: Instituto de Geografía, UNAM.
- García, L. A., y A. García. 2013. «Los catálogos de paisajes como herramienta para la evaluación y diagnóstico del paisaje». *Memorias del VI Congreso de Gestión Ambiental, La Habana Cuba*.
- Giaccardi, M., y A. Tagliorette, ed. 2007. *Efectividad del manejo de las áreas protegidas marino costeras de la Argentina*. 1a ed. Puerto Madryn, Argentina: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación y Fundación Vida Silvestre Argentina Fundación Patagonia Natural.
- Gómez, E. 2013. «Materiales docentes: Introducción a MapGuide Open Source». Universidad de Cantabria.
- Ibarra, P. 1993a. «Una propuesta metodológica para el estudio del paisaje integrado». *Geographicalia* (30): 229-242.
- . 1993b. *Naturaleza y hombre en el sur del campo de Gibraltar: un análisis paisajístico integrado*. Agencia de Medio Ambiente.
- INEGI. 2007. «Diccionario de datos de Uso de Suelo y Vegetación 1:250,000 (vectorial)».
- . 2009. «Conjunto de Datos Vectoriales de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Escala 1:250,000, SerieIV(CONJUNTO NACIONAL).»
- Kennedy, D., y M.C. Bishop. 2011. «Google Earth and the Archaeology of Saudi Arabia. A case Study from the Jeddah Area». *Journal of Archaeological Science* 38: 1284-1293. doi:10.1016/j.jas.2011.01.003.
- La Jornada. 2012. «Entregan casas a damnificados de Anganguero, dos años después». *La Jornada*, electrónica 16 de marzo de 2012 edición, sec. Estados. <http://www.jornada.unam.mx/2012/03/16/estados/039n2est>.
- López, C. 2004. «El establecimiento de Geoparques en México: un método de análisis geográfico para la conservación de la naturaleza en el contexto del manejo de cuencas hídricas». Estudio contratado por el INE bajo convenio INE/ADE-028/2004. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología. <http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/geoparques.pdf>.
- Mas, J.F. 2005. «Assessing protected area effectiveness using surrounding (buffer) areas environmentally similar to the target area». *Environmental Monitoring and Assessment* (105): 69-80. doi:10.1007/s10661-005-3156-5.
- Mas, J.F., A. Velázquez, y S. Couturier. 2009. «La evaluación de los cambios de cobertura/uso de suelo en la República Mexicana». *Investigación ambiental* 1 (1): 23-39.
- Masser, I. 2005. *GIS Worlds. Creating Spatial Data Infrastructures*. USA: ESRI Press.
- Mateo, R. J. M. 2002. *Geografía de los Paisajes. Primera Parte. Paisajes Naturales*. Ministerio de Educación Superior. Universidad de la Habana. Facultad de Geografía. La Habana, Cuba: MES.
- Mejía, D. 2008. «Sistemas de información geográfica, infraestructura de datos espaciales y educación». *Mapping* (125): 42-49.
- Mendoza, M., H. Plascencia, C. Alcántara, F. Rosete, y G. Bocco. 2010. *Análisis de la aptitud territorial. Una perspectiva biofísica*. 1a ed. 300 vols. Planeación Territorial. México, D.F.: Progreso, S.A. de C.V.
- Merino, L. 2004. *Conservación o deterioro. El impacto de las políticas públicas en las instituciones comunitarias y en los usos de los bosques en México*. México, D.F.: INE-SEMARNAT.
- Navas, G., y P. Prieto. 2011. «Geoportales en el Ecuador». *La Granja* 14 (2): 56-64.

- Padrón, J, E Prado, y E. Chuvieco. 2004. «Empleo de servidores cartográficos en Internet para la gestión y manejo de desastres. Alcalá de Henares, España.» Reporte técnico. España: Departamento de Geografía-Universidad de Alcalá.
- Paniagua, I. 2009. «Análisis híbrido para la identificación anual de cambios en la cubierta del suelo: La Chinantla, Oaxaca, 2004-2005». México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras.
- Paniagua, I., J. Carranza, y Ma. I. Ramírez. 2011. «Método híbrido para la detección de cambios en la cubierta del suelo en áreas naturales protegidas». *Memorias XIX Reunión Nacional SELPER México*: 36-42.
- Paniagua, I., Ma. I. Ramírez, y J. Carranza. 2013. «Monitoreo de corto plazo del cambio de las cubiertas del suelo: Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca 2001-2012, México». *Memorias del VIII Congreso sobre Áreas Naturales, La Habana, Cuba*.
- Priego, S.A. 2004. «Relación entre la heterogeneidad geocológica y la biodiversidad en ecosistemas costeros tropicales». Xalapa, Veracruz, México: Instituto de Ecología, A.C.
- Priego, S.A., M.M. Bollo, y G. Bocco. 2008. «Geoecología del Paisaje. Notas de Clase. Maestría en “Manejo Integral del Paisaje”.» UNAM & ITC. Posgrado en Geografía. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental.
- Ramírez, I, R Miranda, y R. Zubieta. 2007. «Serie Cartográfica Monarca. Volumen I. Vegetación y Cubiertas del Suelo, 2006.» Monarch Butterfly Sanctuary Foundation-Instituto de Geografía, UNAM.
- Ramírez, I, y R. Zubieta. 2005. «Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Región Mariposa Monarca». Informe técnico preparado para el Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca. México, D.F.: Instituto de Geografía, UNAM.
- Ramírez, I. 2001a. «Cambios en las cubiertas del suelo en la Sierra de Angangueo, Michoacán y Estado de México, 1971-1994-2000». *Boletín del Instituto Geografía UNAM* 45. Investigaciones Geográficas: 39-52.
- . 2001b. «Los espacios forestales de la sierra de Angangueo (estados de Michoacán y México), México: una revisión geográfica». Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- Sánchez-Azofeifa, G.A., C. Quesada-Mateo, P. González-Quesada, S. Dayanandan, y K.S. Bawa. 1999. «Protected areas and conservation of biodiversity in the tropics». *Conservation Biology* 13: 407-411. doi:10.1046/j.1523- 1739.1999.013002407.x.
- SEMARNAT. 2005. «Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales». México, D.F.: SEMARNAT.
- SGM. 2000. «Carta Geológica-Minera El Oro de Hidalgo E14-A16, Edomex.-Mich., Esc. 1:50,000». Pachuca, Hgo. México.
http://mapserver.sgm.gob.mx/cartas_impresas/productos/cartas/cartas50/cartas50.html.
- Smiet, A. 1996. «Landscape and forest ecology of the Konto river upper watershed, Java.» *ITC Journal* 3 (4): 215-224.
- Tang, W., y J. Selwood. 2003. *Connecting Our World; GIS WEB Services*. USA: ESRI.
- . 2005. *Spatial Portals. Gateways to Geographic Information*. USA: ESRI.
- Tang, Winnie, y Jan Selwood. 2005. *Spatial Portals: Gateways to Geographic Information*. ESRI Press.
- Tapia-Varela, G., y J. López-Blanco. 2002. «Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfológicas a escala 1:100,000». *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Universidad Nacional Autónoma de México* 19 (1): 50-65.

- Tricart, J., y J. Kilian. 1982. *La eco-geografía y la ordenación del medio natural*. Barcelona, España: Anagrama.
- Turner, B. L., E.F. Lambin, y A. Reenberg. 2007. «The Emergence of Land Change Science for Global Environmental Change and Sustainability». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 (52): 20666-20671. doi:10.1073/pnas.0704119104.
- UICN. 2008. «¿Qué Es Un Área Natural Protegida?» *Unión Internacional Para La Conservación de La Naturaleza*.
walrus.wr.usgs.gov/infobank/programs/html/training/kml/virtualglobes.html.
- Urquijo, P., y G. Bocco. 2011. «Los estudios del paisaje y su importancia en México, 1970-2010.» *Journal of Latin American Geography* 10 (2). Conference of Latin Americanist Geographers: 37-51.
- Velázquez, A., J.F. Mas, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra, y J.L. Palacio. 2002. «Patrones y tasas de cambio de uso de suelo en México». *Gaceta Ecológica, Instituto de Ecología* (62): 21-37.
- Viáncos, R., y R. Salinas. 2013. «Prototipo de Servidor de Mapas sobre una Red TCP/IP, Integrando Tecnologías de Internet y de Sistemas de Información Geográfica». Departamento de Ingeniería Eléctrica, USACH. Accedido junio 22. <http://www.cp-idea.org/documentos/tecnologia/PAQPER.pdf>.
- Vidal, O., J. López-García, y E. Rendón-Salinas. 2013. «Trends in Deforestation and Forest Degradation after a Decade of Monitoring in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve in Mexico». *Conservation Biology* 0 (0): 1-10. doi:10.1111/cobi.12138.
- Zinck, A. 2012. *Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. ITC Special Lecture Notes Series. Enschede, The Netherlands: Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation.
- Zonneveld, I. 1995. *Land ecology: an introduction to landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation*. ilustrada. Amsterdam: SPB Academic Publishing.

Anexo

Cubiertas del suelo en unidades ambientales

En este apartado se muestran los datos registrados de las cubiertas del suelo en cada periodo por unidad ambiental. Se inicia con “Laderas muy incididas” (31,579 ha) que es la unidad de mayor tamaño de la RBMM. Para destacar las principales relevancias de las unidades ambientales, se decidió describir los procesos de cambio de las cubiertas del suelo hasta la unidad de “Lomeríos” (1,773 ha). Debido al poco territorio que cubren las “Mesetas de lava” (1.26%), “Laderas no volcánicas” (1.23%) y “Planicies” (0.51%), se tomó la decisión de no incluirlas.

Laderas muy incididas

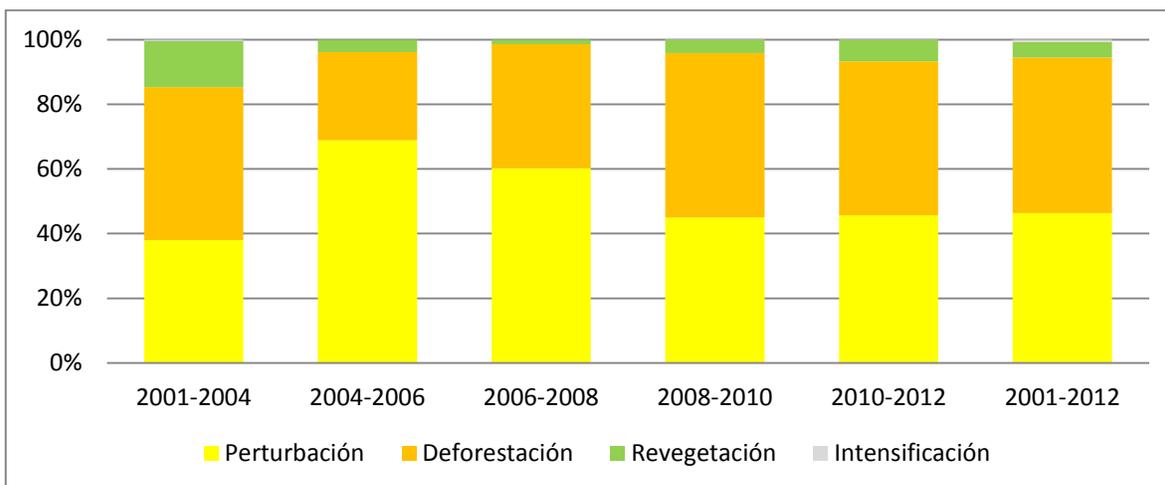
CUBIERTAS DEL SUELO	2001		2004		2006		2008		2010		2012	
FORESTAL	HA	%										
Bosque de Oyamel	6,278	19.88	6,266	19.84	6,188	19.59	6,181	19.57	5,970	18.90	5,912	18.72
Bosque de Pino-Encino	833	2.64	833	2.64	833	2.64	833	2.64	833	2.64	833	2.64
Arbustos Secundarios	1,434	4.54	1,512	4.79	1,515	4.80	1,515	4.80	1,496	4.74	1,499	4.75
Bosque de Encino/vs	239	0.76	239	0.76	239	0.76	239	0.76	239	0.76	239	0.76
Bosque de Oyamel/vs	7,461	23.63	6,966	22.06	6,780	21.47	6,105	19.33	5,815	18.42	5,753	18.22
Bosque de Pino-Encino/vs	8,992	28.47	8,878	28.11	8,818	27.92	8,672	27.46	8,608	27.26	8,588	27.20
Bosque de Oyamel Abierto	773	2.45	943	2.99	1,128	3.57	1,521	4.82	1,668	5.28	1,713	5.42
Bosque de Pino-Encino Abierto	432	1.37	537	1.70	586	1.86	682	2.16	660	2.09	641	2.03
Subtotal	26,441	83.73	26,174	82.88	26,088	82.61	25,748	81.53	25,289	80.08	25,179	79.73
NO FORESTAL												
Área Agrícola	3,124	9.89	3,123	9.89	3,145	9.96	3,165	10.02	3,207	10.15	3,217	10.19
Área sin Vegetación Aparente	6	0.02	6	0.02	6	0.02	6	0.02	66	0.21	66	0.21
Asentamientos Humanos	91	0.29	91	0.29	91	0.29	91	0.29	76	0.24	76	0.24
Pastizal	1,917	6.07	2,184	6.92	2,249	7.12	2,570	8.14	2,941	9.31	3,041	9.63
Subtotal	5,138	16.27	5,405	17.12	5,491	17.39	5,832	18.47	6,290	19.92	6,400	20.27
TOTAL	31,579	100										

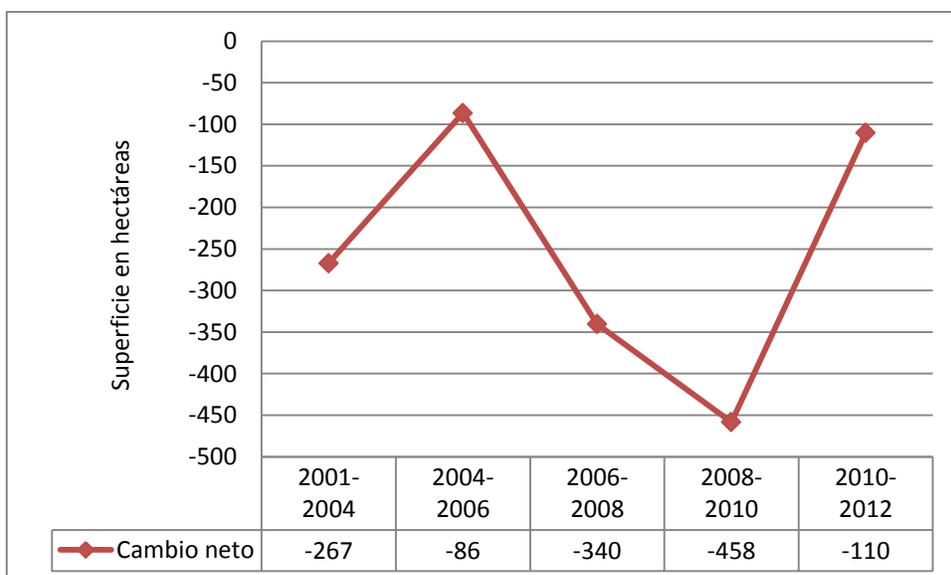
Período	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual	HA/año	Cambio Acumulado
2001-2004	26,441	26,174	-267	3	0.003	0.34	-89	-267
2004-2006	26,174	26,088	-86	2	0.002	0.17	-43	-353
2006-2008	26,088	25,748	-340	2	0.007	0.65	-170	-694
2008-2010	25,748	25,289	-458	2	0.009	0.89	-229	-1152
2010-2012	25,289	25,179	-110	2	0.002	0.22	-55	-1262
2001-2012	26,441	25,179	-1,262	11	0.004	0.44	-115	-1262

Matriz de transición de Laderas muy Incididas 2001-2012	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino-Encino	Arbustos Secundarios	Bosque de Encino/vs	Bosque de Oyamel/vs	Bosque de Pino-Encino/vs	Bosque de Oyamel Abierto	Bosque de Pino-Encino Abierto	Área Agrícola	Área sin Vegetación aparente	Asentamientos Humanos	Pastizal	Total 2001
Bosque de Oyamel	5.912				3		292		8	9		54	6.278
Bosque de Pino-Encino		833											833
Arbustos Secundarios			1.372						13	1		49	1.434
Bosque de Encino/vs				239									239
Bosque de Oyamel/vs					5.745		817		13	28		859	7.461
Bosque de Pino-Encino/vs						8.584		241	50	3		114	8.992
Bosque de Oyamel Abierto					5		600		11	2		155	773
Bosque de Pino-Encino Abierto								396		1		34	432
Área Agrícola			5			1	1		3.117		0		3.124
Área sin Vegetación aparente										6			6
Asentamientos Humanos										15	76		91
Pastizal			123		1	4	3	4	5	0		1.776	1.917
Total 2012	5.912	833	1.499	239	5.753	8.588	1.713	641	3.217	66	76	3.041	31.579

Matriz de dinámica de cambio en Laderas muy Incididas 2001-2012	Área Agrícola	Área sin Vegetación Apparente	Asentamientos Humanos	Pastizal
Bosque de Oyamel	-7.61	-8.85		-53.66
Bosque de Pino-Encino				
Arbustos Secundarios	-7.83	-1.27		74.02
Bosque de Encino/vs				
Bosque de Oyamel/vs	-13.21	-28.30		-857.58
Bosque de Pino-Encino/vs	-49.51	-2.59		-110.38
Bosque de Oyamel Abierto	-10.26	-1.97		-152.13
Bosque de Pino-Encino Abierto		-1.35		-29.81
Subtotal	-88	-44	0	-1,130
Total de cambio en el periodo HA	-1262.31			
Total por año HA	-114.755			

Procesos de cambio	2001-2004		2004-2006		2006-2008		2008-2010		2010-2012		2001-2012	
	Ha	%	Ha	%								
Perturbación	307	37.97	255	68.90	559	59.46	441	44.74	123	45.65	1,353	46.27
Deforestación	383	47.28	101	27.22	354	37.66	500	50.63	128	47.65	1,404	48.01
Revegetación (bosques abiertos a bosques/vs)	0.00	0.00	0.00	0.00	13.50	1.44	4.12	0.42	0.00	0.00	4.77	0.16
Revegetación	116	14.29	14	3.88	14	1.44	41	4.19	18	6.64	141	4.83
Intensificación	3.72	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.02	0.18	0.07	21.33	0.73





Laderas escasamente incididas

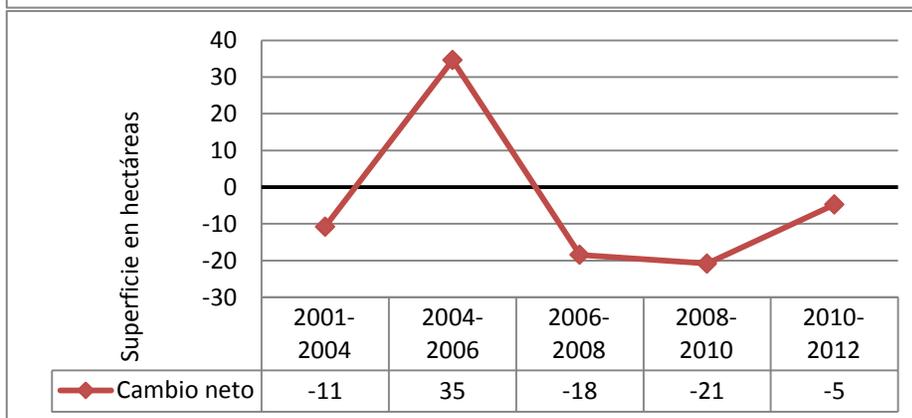
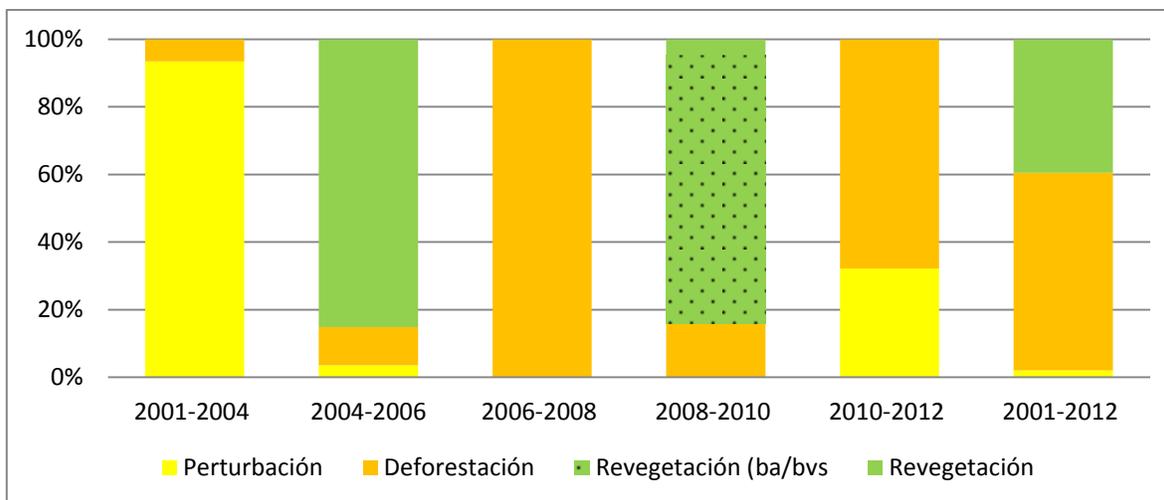
CUBIERTAS DEL SUELO	2001		2004		2006		2008		2010		2012	
FORESTAL	HA	%										
Arbustos Secundarios	808	11.35	808	11.35	837	11.77	837	11.77	843	11.85	843	11.85
Bosque de Oyamel/vs	1,052	14.78	1,052	14.78	1,052	14.78	1,052	14.78	1,052	14.78	1,052	14.78
Bosque de Pino-Encino/vs	4,424	62.17	4,260	59.86	4,260	59.86	4,244	59.64	4,376	61.50	4,371	61.42
Bosque de Oyamel Abierto	13	0.18	13	0.18	13	0.18	13	0.18	13	0.18	12	0.18
Bosque de Pino-Encino Abierto	5	0.06	159	2.23	163	2.29	160	2.25	2	0.02	2	0.03
Subtotal	6,301	88.55	6,290	88.39	6,325	88.88	6,306	88.62	6,285	88.33	6,281	88.26
NO FORESTAL												
Área Agrícola	510	7.17	514	7.22	515	7.24	519	7.30	532	7.47	534	7.51
Pastizal	305	4.28	312	4.39	276	3.88	290	4.08	299	4.20	301	4.23
Subtotal	815	11.45	826	11.61	791	11.12	810	11.38	831	11.67	835	11.74
TOTAL	7,116	100										

Período	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual	HA/año	Cambio Acumulado
2001-2004	6,301	6,290	-11	3	0.001	0.06	-4	-11
2004-2006	6,290	6,325	35	2	-0.003	-0.27	17	24
2006-2008	6,325	6,306	-18	2	0.001	0.15	-9	5
2008-2010	6,306	6,285	-21	2	0.002	0.17	-10	-15
2010-2012	6,285	6,281	-5	2	0.000	0.04	-2	-20
2001-2012	6,301	6,281	-20	11	0.000	0.03	-2	-20

Matriz de transición de Laderas escasamente Incididas 2001-2012	Arbustos Secundarios	Bosque de Oyamel/vs	Bosque de Pino-Encino/vs	Bosque de Oyamel Abierto	Bosque de Pino-Encino Abierto	Área Agrícola	Pastizal	Total 2001
Arbustos Secundarios	805		0			3	0	808
Bosque de Oyamel/vs		1.052						1.052
Bosque de Pino-Encino/vs			4.368		2	21	33	4.424
Bosque de Oyamel Abierto				12			0	13
Bosque de Pino-Encino Abierto							5	5
Área Agrícola			0			510		510
Pastizal	39		3				263	305
Total 2012	843	1.052	4.371	12	2	534	301	7.116

Matriz de dinámica de cambio en Laderas escasamente Incididas 2001-2012	Área Agrícola	Pastizal
Arbustos Secundarios	-2.87	38.78
Bosque de Oyamel/vs		
Bosque de Pino-Encino/vs	-21.24	-29.99
Bosque de Oyamel Abierto		-0.29
Bosque de Pino-Encino Abierto		-4.62
Subtotal	-24	4
Total de cambio en el periodo HA		-20
Total por año HA		-2

Procesos de cambio	2001-2004		2004-2006		2006-2008		2008-2010		2010-2012		2001-2012	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Perturbación	154	93.45	2	3.56	0	0.00	0	0.00	2	32.21	2	2.12
Deforestación	11	6.55	5	11.36	18	100.00	30	15.82	5	67.79	62	58.43
Revegetación (bosques abiertos a bosques/vs)		0.00		0.00		0.00	149	79.50		0.00		0.00
Revegetación	0	0.00	40	85.08	0	0.00	9	4.68	0	0.00	42	39.46
Intensificación	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Domos volcánicos

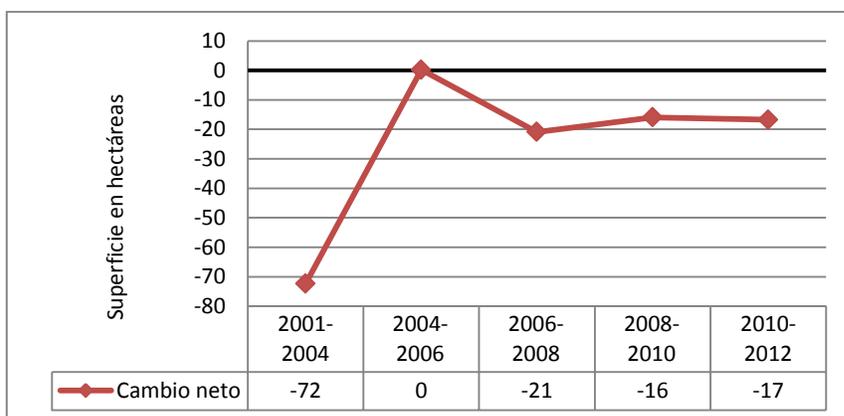
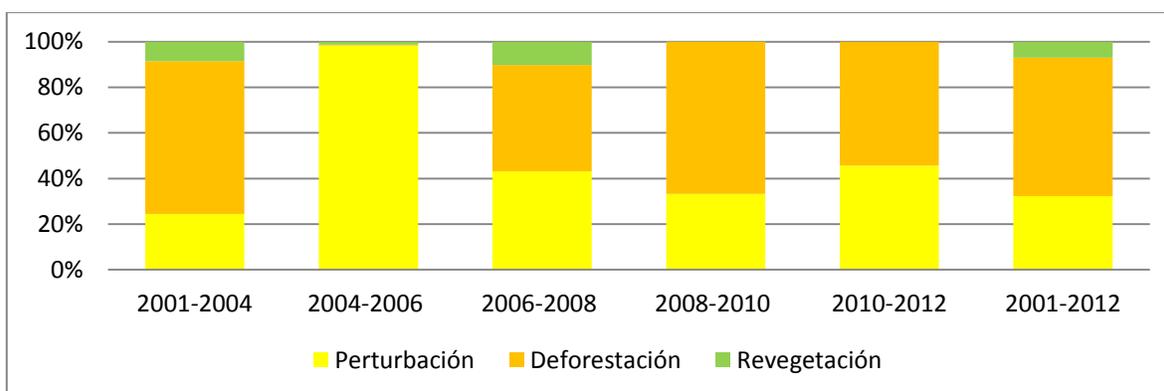
CUBIERTAS DEL SUELO	2001		2004		2006		2008		2010		2012	
FORESTAL	HA	%										
Arbustos Secundarios	425	9.62	414	9.36	414	9.36	414	9.36	410	9.28	410	9.28
Bosque de Oyamel/vs	801	18.11	801	18.11	801	18.11	801	18.11	800	18.10	799	18.07
Bosque de Pino-Encino/vs	2,510	56.79	2,480	56.11	2,459	55.62	2,432	55.01	2,422	54.79	2,406	54.43
Bosque de Oyamel Abierto	87	1.96	87	1.96	87	1.96	288	6.52	87	1.98	85	1.93
Bosque de Pino-Encino Abierto	291	6.58	260	5.89	282	6.37	87	1.96	285	6.46	288	6.51
Subtotal	4,114	93.07	4,041	91.43	4,042	91.43	4,021	90.96	4,005	90.60	3,988	90.22
NO FORESTAL												
Área Agrícola	75	1.69	75	1.69	75	1.69	78	1.77	79	1.78	79	1.80
Área sin Vegetación Aparente	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	4	0.09	4	0.09
Pastizal	232	5.24	304	6.88	304	6.88	321	7.27	333	7.52	349	7.89
Subtotal	306	6.93	379	8.57	379	8.57	400	9.04	415	9.40	432	9.78
TOTAL	4,420	100										

Período	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual	HA/año	Cambio Acumulado
2001-2004	4,114	4,041	-72	3	0.00590	0.59	-24	-72
2004-2006	4,041	4,042	0	2	-0.00003	0.00	0	-72
2006-2008	4,042	4,021	-21	2	0.00259	0.26	-10	-93
2008-2010	4,021	4,005	-16	2	0.00198	0.20	-8	-109
2010-2012	4,005	3,988	-17	2	0.00209	0.21	-8	-126
2001-2012	4,114	3,988	-126	11	0.00282	0.28	-11	-126

Matriz de transición de Domos Volcánicos 2001-2012									Total 2001
	Arbustos Secundarios	Bosque de Oyamel/vs	Bosque de Pino-Encino/vs	Bosque de Oyamel Abierto	Bosque de Pino-Encino Abierto	Área Agrícola	Área sin Vegetación Aparente	Pastizal	
Arbustos Secundarios	400					1	3	22	425
Bosque de Oyamel/vs		799						2	801
Bosque de Pino-Encino/vs			2.403		76	3		28	2.510
Bosque de Oyamel Abierto				85				1	87
Bosque de Pino-Encino Abierto			1		208	1		81	291
Área Agrícola	0				0	74			75
Área sin Vegetación Aparente							0		0
Pastizal	11		1		4			1	214
Total 2012	410	799	2.406	85	288	79	4	349	4.420

Matriz de dinámica de cambio en Domos Volcánicos 2001-2012			
	Área Agrícola	Área sin Vegetación Aparente	Pastizal
Arbustos Secundarios	-1	-3	-11
Bosque de Oyamel/vs			-2
Bosque de Pino-Encino/vs	-3		-26
Bosque de Oyamel Abierto			-1
Bosque de Pino-Encino Abierto	-1		-77
Subtotal	-5	-3	-118
Total de cambio en el periodo HA		-126	
Total por año HA		-11	

Procesos de cambio	2001-2004		2004-2006		2006-2008		2008-2010		2010-2012		2001-2012	
	Ha	%		%		%		%		%		%
Perturbación	30	24.44	21	98.23	25	43.13	8	33.21	14	43.57	76	32.06
Deforestación	83	67.00	0	0.38	27	46.64	16	66.67	17	51.82	142	60.33
Revegetación (bosques abiertos a bosques/vs)		0.00		0.00		0.00		0.00	1.49	4.61	1.33	0.56
Revegetación	11	8.55	0	1.39	6	10.24	0	0.12	0	0.00	17	7.05
Intensificación	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00



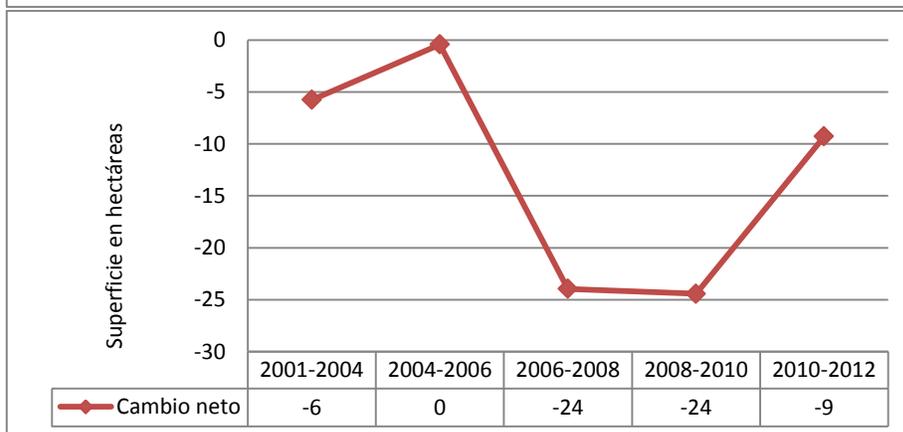
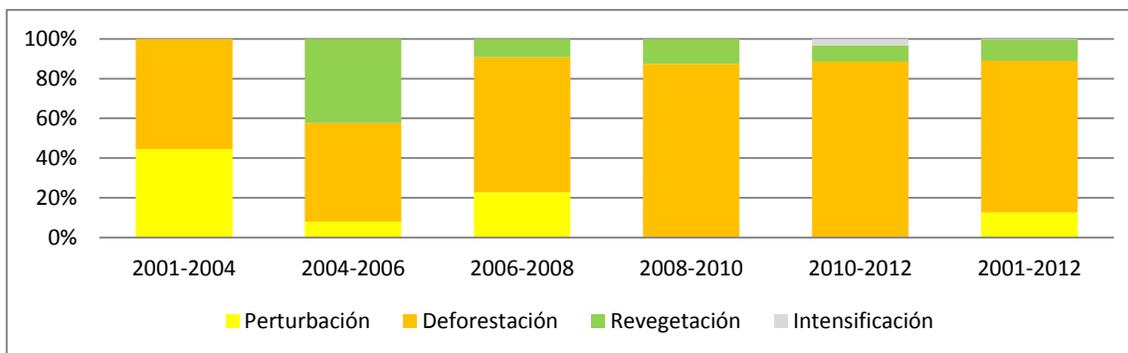
Piedemonte de flujos piroclásticos

CUBIERTAS DEL SUELO	2001		2004		2006		2008		2010		2012	
FORESTAL	HA	%										
Arbustos Secundarios	137	3.92	133	3.79	135	3.85	132	3.78	126	3.60	125.75	3.59
Bosque de Oyamel/vs	73	2.09	73	2.09	73	2.09	73	2.09	73	2.09	73.17	2.09
Bosque de Pino-Encino/vs	1,509	43.12	1,503	42.95	1,501	42.89	1,472	42.07	1,466	41.90	1,458	41.68
Bosque de Pino-Encino Abierto	25	0.71	30	0.84	29	0.83	37	1.04	24	0.70	22.81	0.65
Subtotal	1,744	50	1,738	50	1,738	50	1,714	49	1,689	48	1,680	48
NO FORESTAL												
Área Agrícola	1,611	46.05	1,611	46.05	1,612	46.07	1,631	46.62	1,636	46.75	1,643	46.97
Asentamientos Humanos	18	0.50	18	0.50	18	0.50	18	0.50	18	0.50	17.55	0.50
Pastizal	126	3.60	132	3.77	131	3.76	136	3.89	156	4.46	158	4.51
Subtotal	1,755	50	1,761	50	1,761	50	1,785	51	1,809	52	1,819	52
TOTAL	3,499	100										

Matriz de transición de Piedemonte de Flujos Piroclásticos 2001-2012	Arbustos Secundarios	Bosque de Oyamel/vs	Bosque de Pino-Encino/vs	Bosque de Pino-Encino Abierto	Área Agrícola	Asentamientos Humanos	Pastizal	Total 2001
Arbustos Secundarios	118				7		12	137
Bosque de Oyamel/vs		73						73
Bosque de Pino-Encino/vs			1.457	12	33		7	1.509
Bosque de Pino-Encino Abierto				10	1		14	25
Área Agrícola	8		2		1.602			1.611
Asentamientos Humanos						18		18
Pastizal			0	0	0		125	126
Total 2012	126	73	1.458	23	1.643	18	158	3.499

Matriz de dinámica de cambio en Piedemonte de Flujos Piroclásticos 2001-2012	Área Agrícola	Asentamientos Humanos	Pastizal
Arbustos Secundarios	0.80		-12.12
Bosque de Oyamel/vs			
Bosque de Pino-Encino/vs	-31.61		-6.55
Bosque de Pino-Encino Abierto	-0.92		-13.46
Subtotal	-32	0	-32
Total de cambio en el periodo HA		-64	
Total por año HA		-6	

Procesos de cambio	2001-2004		2004-2006		2006-2008		2008-2010		2010-2012		2001-2012	
	Ha	%										
Perturbación	5	44.48	0	8.02	9	22.75	0	0.00	0	0.00	12	12.67
Deforestación	6	55.52	3	49.70	28	68.14	28	87.48	10	88.65	74	76.44
Revegetación (bosques abiertos a bosques/vs)	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Revegetación	0	0.00	2	42.28	4	9.11	4	12.52	1	8.15	10	10.51
Rotación	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	3.20	0	0.38



Piedemonte coluvio-deluvial

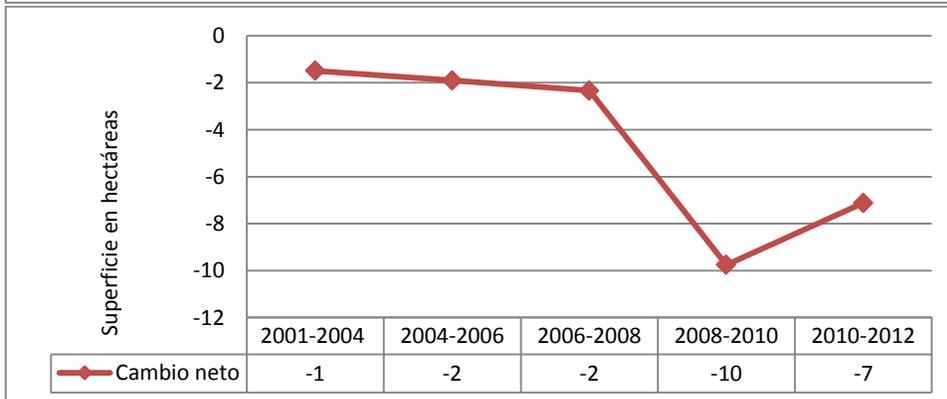
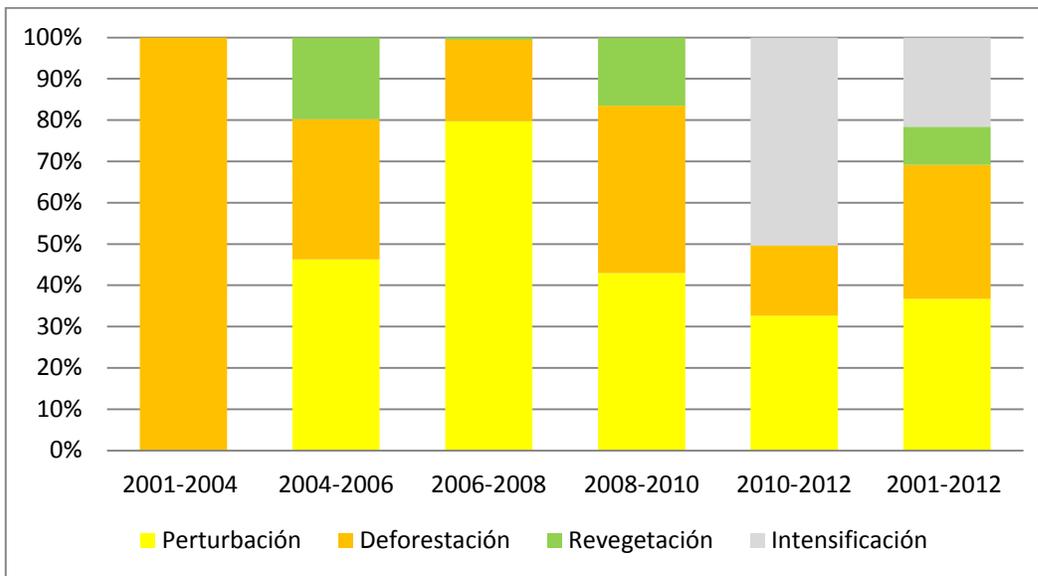
CUBIERTAS DEL SUELO	2001		2004		2006		2008		2010		2012	
FORESTAL	HA	%										
Bosque de Oyamel	14	0.40	14	0.40	14	0.40	14	0.40	14	0.40	13.60	0.40
Bosque de Pino-Encino	22	0.63	22	0.63	21	0.61	21	0.61	21	0.61	20.93	0.61
Arbustos Secundarios	95	2.79	95	2.79	95	2.79	95	2.79	97	2.83	95.57	2.80
Bosque de Oyamel/vs	12	0.34	11	0.32	11	0.32	11	0.32	11	0.32	10.83	0.32
Bosque de Pino-Encino/vs	1,565	45.85	1,564	45.83	1,560	45.69	1,548	45.36	1,528	44.76	1,514	44.36
Bosque de Pino-Encino Abierto	53	1.56	53	1.56	57	1.67	66	1.94	75	2.20	82.95	2.43
Subtotal	1,761	52	1,759	52	1,757	51	1,755	51	1,745	51	1,738	51
NO FORESTAL												
Área Agrícola	1,495	43.78	1,495	43.80	1,494	43.78	1,495	43.80	1,496	43.83	1,476	43.23
Asentamientos Humanos	48	1.40	48	1.40	48	1.40	48	1.40	48	1.40	69	2.02
Pastizal	107	3.14	108	3.16	111	3.24	112	3.29	121	3.55	127	3.74
Subtotal	1,649	48	1,651	48	1,653	48	1,655	48	1,665	49	1,672	49
OTROS												
Cuerpo de Agua	3	0.10	3	0.10	3	0.10	3	0.10	3	0.10	3	0.10
Subtotal	3	0										
TOTAL	3,414	100										

Período	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual	HA/año	Cambio Acumulado
2001-2004	1,761	1,759	-1	3	0.000	0.03	0	-1
2004-2006	1,759	1,757	-2	2	0.001	0.05	-1	-3
2006-2008	1,757	1,755	-2	2	0.001	0.07	-1	-6
2008-2010	1,755	1,745	-10	2	0.003	0.28	-5	-15
2010-2012	1,745	1,738	-7	2	0.002	0.20	-4	-23
2001-2012	1,761	1,738	-23	11	0.001	0.12	-2	-23

Matriz de transición de Piedemonte Coluvio-Deluvial 2001-2012	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino-Encino	Arbustos Secundarios	Bosque de Oyamel/vs	Bosque de Pino-Encino/vs	Bosque de Pino-Encino Abierto	Área Agrícola	Asentamientos Humanos	Pastizal	Cuerpo de Agua	Total 2001
Bosque de Oyamel	14										14
Bosque de Pino-Encino		21					1				22
Arbustos Secundarios			92				2		1		95
Bosque de Oyamel/vs				11					1		12
Bosque de Pino-Encino/vs					1.509	36	5		15		1.565
Bosque de Pino-Encino Abierto						47			6		53
Área Agrícola			3		2	0	1.468	21			1.495
Asentamientos Humanos								48			48
Pastizal					3				104		107
Cuerpo de Agua										3	3
Total 2012	14	21	96	11	1.514	83	1.476	69	127	3	3.414

Matriz de dinámica de cambio en Piedemonte Coluvio-Deluvial 2001-2012	Área Agrícola	Asentamientos Humanos	Pastizal
Bosque de Oyamel			
Bosque de Pino-Encino	-0.72		
Arbustos Secundarios	1.56		-1.13
Bosque de Oyamel/vs			-0.72
Bosque de Pino-Encino/vs	-3.37		-12.13
Bosque de Pino-Encino Abierto	0.30		-6.39
Subtotal	-2	0	-20
Total de cambio en el periodo HA		-23	
Total por año HA		-2	

Procesos de cambio	2001-2004		2004-2006		2006-2008		2008-2010		2010-2012		2001-2012	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Perturbación	0	0.00	6	46.29	10	79.77	17	42.97	14	32.60	36	36.68
Deforestación	1	100.00	5	33.93	2	19.63	16	40.52	7	17.06	32	32.48
Revegetación (bosques abiertos a bosques/vs)	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Revegetación	0	0.00	3	19.78	0	0.60	7	16.51	0	0.00	9	9.20
Intensificación	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	21	50.34	21	21.64



Interfluvio cumbral

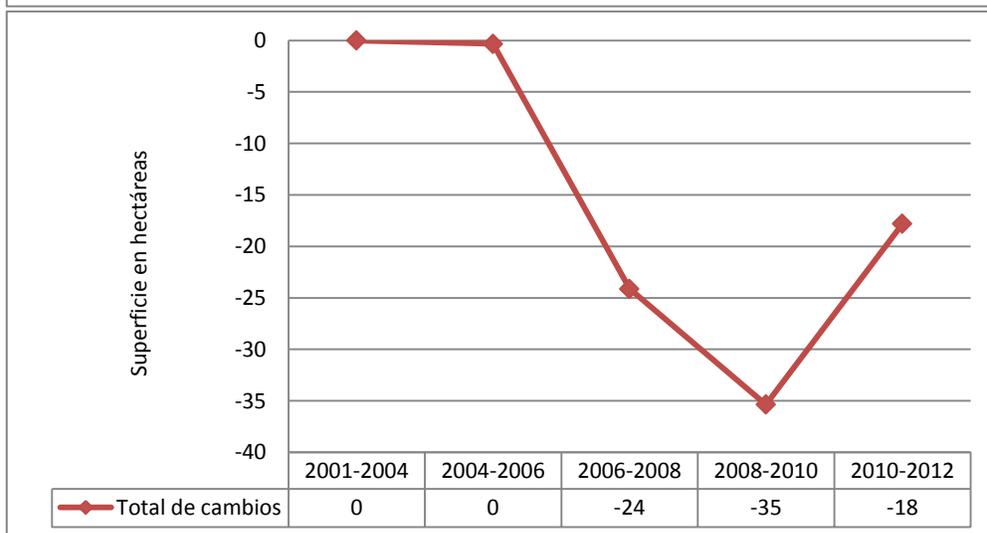
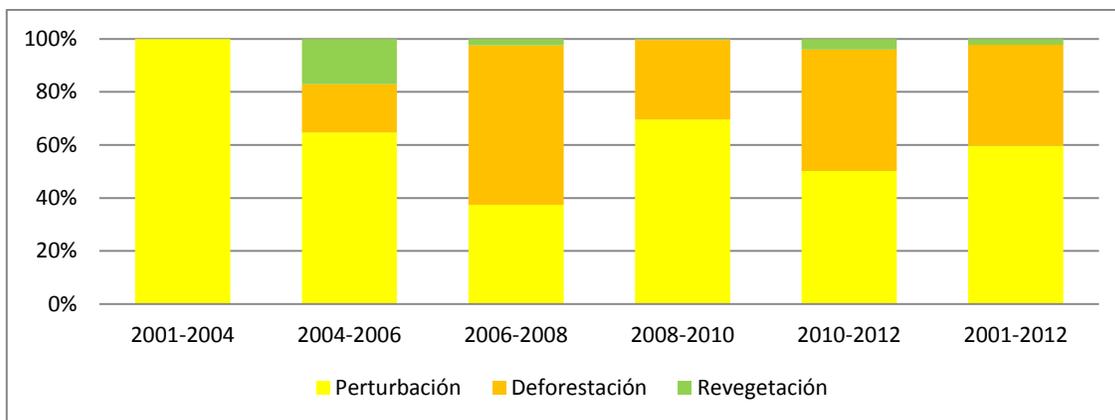
CUBIERTAS DEL SUELO	2001		2004		2006		2008		2010		2012	
FORESTAL	HA	%										
Bosque de Oyamel	1,322	47.77	1,315	47.52	1,295	46.80	1,290	46.63	1,221	44.15	1,199	43.32
Bosque de Pino-Encino	29	1.05	29	1.05	29	1.05	29	1.05	29	1.05	29	1.05
Arbustos Secundarios	10	0.38	10	0.38	14	0.52	11	0.41	12	0.43	12	0.43
Bosque de Oyamel/vs	461	16.68	450	16.28	450	16.28	420	15.17	400	14.44	400	14.44
Bosque de Pino-Encino/vs	399	14.44	399	14.44	399	14.42	399	14.42	398	14.39	398	14.37
Bosque de Oyamel Abierto	124	4.48	142	5.12	157	5.69	172	6.21	225	8.15	231	8.33
Bosque de Pino-Encino Abierto	50	1.79	50	1.79	50	1.79	50	1.79	50	1.79	50	1.81
Subtotal	2,395	86.58	2,395	86.58	2,394	86.55	2,370	85.68	2,335	84.40	2,317	83.75
NO FORESTAL												
Área Agrícola	179	6.46	179	6.46	175	6.33	178	6.45	178	6.43	178	6.43
Asentamientos Humanos	2	0.08	2	0.08	2	0.08	2	0.08	2	0.08	2	0.08
Pastizal	190	6.88	190	6.88	195	7.04	216	7.80	252	9.09	269	9.74
Subtotal	371	13.42	371	13.42	372	13.45	396	14.32	432	15.60	449	16.25
TOTAL	2,767	100										

Período	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual	HA/año	Cambio Acumulado
2001-2004	2,395	2,395	0	3	0.000	0.00	0	0
2004-2006	2,395	2,394	-1	2	0.000	0.02	0	-1
2006-2008	2,394	2,370	-24	2	0.005	0.51	-12	-25
2008-2010	2,370	2,335	-35	2	0.007	0.75	-18	-60
2010-2012	2,335	2,317	-18	2	0.004	0.38	-9	-78
2001-2012	2,395	2,317	-78	11	0.003	0.30	-7	-78

Matriz de transición en Interfluvios Cumbrales 2001-2012	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino-Encino	Arbustos Secundarios	Bosque de Oyamel/vs	Bosque de Pino-Encino/vs	Bosque de Oyamel Abierto	Bosque de Pino-Encino Abierto	Área Agrícola	Asentamientos Humanos	Pastizal	Total 2001
Bosque de Oyamel	1.199					97				26	1.322
Bosque de Pino-Encino		29									29
Arbustos Secundarios			9					1			10
Bosque de Oyamel/vs				400		32				30	461
Bosque de Pino-Encino/vs			1		398		0	0		1	399
Bosque de Oyamel Abierto						98				25	124
Bosque de Pino-Encino Abierto							50				50
Área Agrícola			2					177			179
Asentamientos Humanos									2		2
Pastizal			0			3				188	190
Total 2012	1.199	29	12	400	398	231	50	178	2	269	2.767

Matriz de dinámica de cambio en Interfluvios Cumbrales 2001-2012	Área Agrícola	Asentamientos Humanos	Pastizal
Bosque de Oyamel			-25.76
Bosque de Pino-Encino			
Arbustos Secundarios	0.72		0.11
Bosque de Oyamel/vs			-29.88
Bosque de Pino-Encino/vs	0.00		-0.75
Bosque de Oyamel Abierto			-22.63
Bosque de Pino-Encino Abierto			
Subtotal	1	0	-79
Total de cambio en el periodo HA		-78	
Total por año HA		-7	

Procesos de cambio	2001-2004		2004-2006		2006-2008		2008-2010		2010-2012		2001-2012	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Perturbación	18	100.00	19	64.67	16	37.42	83	69.54	21	50.10	130	59.53
Deforestación	0	0.00	5	18.24	25	60.09	36	30.05	20	45.85	83	38.04
Revegetación (bosques abiertos a bosques/vs)	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.26
Revegetación	0	0.00	5	17.10	1	2.48	0	0.41	2	4.05	5	2.16
Intensificación	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00



Lomeríos

CUBIERTAS DEL SUELO	2001		2004		2006		2008		2010		2012	
	HA	%										
FORESTAL												
Bosque de Pino-Encino	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0.21	0.01
Arbustos Secundarios	6	0.33	6	0.33	6	0.33	6	0.33	6	0.33	5.89	0.33
Bosque de Encino/vs	7	0.39	7	0.39	7	0.39	7	0.39	7	0.39	6.84	0.39
Bosque de Oyamel/vs	84	4.74	79	4.45	75	4.26	74	4.17	73	4.14	73.40	4.14
Bosque de Pino-Encino/vs	285	16.06	264	14.87	253	14.27	236	13.34	236	13.34	236.22	13.33
Bosque de Oyamel Abierto	22	1.23	23	1.32	25	1.39	25	1.39	25	1.39	24.64	1.39
Bosque de Pino-Encino Abierto	97	5.45	108	6.10	113	6.40	108	6.07	106	6.00	106.10	5.99
Subtotal	500	28.21	487	27.48	479	27.05	455	25.70	454	25.60	453	25.57
NO FORESTAL												
Área Agrícola	1,251	70.58	1,251	70.60	1,251	70.55	1,254	70.77	1,254	70.75	1,254	70.76
Área sin Vegetación Aparente	1	0.08	1	0.08	1	0.08	1	0.08	2	0.13	2.31	0.13
Pastizal	20	1.12	33	1.84	41	2.32	61	3.45	62	3.53	62.74	3.54
Subtotal	1,272	71.79	1,286	72.52	1,293	72.95	1,317	74.30	1,319	74.40	1,319	74.43
TOTAL	1,773	100										

Período	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual	HA/año	Cambio Acumulado
2001-2004	500	487	-13	3	0.009	0.88	-4	-13
2004-2006	487	479	-8	2	0.008	0.78	-4	-21
2006-2008	479	455	-24	2	0.025	2.53	-12	-45
2008-2010	455	454	-2	2	0.002	0.20	-1	-46
2010-2012	454	453	0	2	0.000	0.05	0	-47
2001-2012	500	453	-47	11	0.009	0.89	-4	-47

Matriz de transición de Lomerios 2001-2012											
	Bosque de Pino-Encino	Arbustos Secundarios	Bosque de Encino/vs	Bosque de Oyamel/vs	Bosque de Pino-Encino/vs	Bosque de Oyamel Abierto	Bosque de Pino-Encino Abierto	Área Agrícola	Área sin Vegetación Aparente	Pastizal	Total 2001
Bosque de Pino-Encino	0										0
Arbustos Secundarios		6									6
Bosque de Encino/vs			7								7
Bosque de Oyamel/vs				73		2		0	1	8	84
Bosque de Pino-Encino/vs					235		17	4		28	285
Bosque de Oyamel Abierto						22					22
Bosque de Pino-Encino Abierto							89	1		7	97
Área Agrícola				0	1	1		1.249	0		1.251
Área sin Vegetación Aparente									1		1
Pastizal										20	20
Total 2012	0	6	7	73	236	25	106	1.254	2	63	1.773

Matriz de dinámica de cambio en Lomerios 2001-2012			
	Área Agrícola	Área sin Vegetación Aparente	Pastizal
Bosque de Pino-Encino			
Arbustos Secundarios			
Bosque de Encino/vs			
Bosque de Oyamel/vs	-0.25	-0.52	-8.20
Bosque de Pino-Encino/vs	-3.57		-27.90
Bosque de Oyamel Abierto	1.17		
Bosque de Pino-Encino Abierto	-0.72		-6.79
Subtotal	-3	-1	-43
Total de cambio en el periodo HA		-47	
Total por año HA		-4	

Procesos de cambio	2001-2004		2004-2006		2006-2008		2008-2010		2010-2012		2001-2012	
		%		%		%		%		%		%
Perturbación	18	58.15	3	15.52	4	14.46	0	0.00	0	0.00	19	26.96
Deforestación	13	41.85	11	63.51	25	82.95	2	99.94	0.41	100.00	49	70.24
Revegetación (bosques abiertos a bosques/vs)	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Revegetación	0	0.00	4	20.97	1	2.59	0	0.06	0	0.00	2	2.80
Intensificación		0.00		0.00		0.00	0	18.81		0.00	0	0.48

