



FONDO MEXICANO  
PARA LA  
CONSERVACIÓN  
DE LA NATURALEZA, A.C.  
Institución Privada.



COMISION NACIONAL DE  
ÁREAS NATURALES  
PROTEGIDAS

**CONTRATO No. 017-10-501**

***“Estimación y Actualización al 2009 de la Tasa de Transformación del Hábitat de las Áreas Naturales Protegidas SINAP I y SINAP II del FANP”***

***Reserva de la Biosfera  
Mariposa Monarca***



**Nombre del Consultor:**

*PIMAIG Procesamiento Integración Manejo  
y Análisis de Información Geográfica S.A. de C.V.*

**Periodo del Reporte:**

*01 al 31 de Enero de 2010*

Morelia, Michoacán  
10 de Febrero 2010

### **Coordinación**

Jorge Carranza Sánchez  
Subdirección de Área  
CONANP-SEMARNAT

Andrew John Rhodes Espinoza  
Coordinador Central del FANP  
FMCN - CONANP

### **Compilador**

M. en Geog. Rodolfo Ruiz López  
FMCN – CONANP

### **Colaboración Técnica**

Ignacio Paniagua Ruíz  
Jefe de Departamento  
CONANP-SEMARNAT

Héctor Martín Cruz Rojas  
Técnico del SIG  
CONANP-SEMARNAT



“© CNES 200\_. 2003-2004, producida por ASERCA-CONANP bajo licencia de Spot Image, S. A.”

“SEMAR-SAGARPA-ASERCA-CONANP 2009.

Agradecemos a la Estación de Recepción Remota México de la constelación Spot (ERMEXS) por las facilidades brindadas para obtener las imágenes del satélite Spot. A la SEMARNAT través de la Dirección General de Información y Estadística por el apoyo proporcionado para la información cartográfica digital del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

## Índice

<i>Introducción</i>	4
<i>Antecedentes</i>	7
<i>Objetivo</i>	10
<i>Área de Estudio</i>	10
<i>Material</i>	15
Polígono oficial	15
Imágenes de satélite	15
Modelo Digital de Elevación (MDE)	16
<i>Metodología</i>	18
Rectificación de imágenes de satélite	18
Clasificación de imágenes de satélite	19
Áreas de cambio	21
Tasa de Transformación	23
<i>Resultados</i>	24
Imágenes de satélite	24
Uso del Suelo y Vegetación	29
Áreas de Cambio	40
Matriz de Cambio 2000 - 2004	40
Matriz de Cambio 2004 - 2006	40
Matriz de Cambio 2006 - 2008	41
Tasa de Transformación del Hábitat.	47
<i>Conclusiones</i>	49
<i>Bibliografía</i>	50

## Introducción

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) que se encarga de administrar el patrimonio natural de México a través de mecanismos y políticas ambientales encaminadas a la restauración, conservación, mejoramiento y sostenibilidad de los recursos; a través de la integración de factores socioeconómicos.

En la actualidad son 174 áreas naturales de carácter federal que representan más de 23 millones de hectáreas (11.56% del territorio nacional). Las ANP, son el instrumento de política ambiental con mayor definición jurídica para la conservación de la biodiversidad. Se crean mediante un decreto presidencial y las actividades que pueden llevarse a cabo en ellas se establecen de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA).

Estas ANP, representan porciones terrestres o acuáticas representativas de los diversos ecosistemas, éstas constituyen una herramienta estratégica para la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad de México. Sin embargo, la magnitud con la que se continúa ejerciendo presión sobre los recursos naturales aumenta y el efecto de esto se refleja en la pérdida de especies y en la desaparición, fragmentación y degradación de los ecosistemas.

Uno de los mecanismos para lograr el objetivo de conservación de los recursos y la biodiversidad es el proyecto Fondo para Áreas Naturales Protegidas (FANP), el cual fue creado en el año 1997 a partir de un acuerdo que estableció su operación. Este acuerdo fue firmado por el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. (FMCN) y el Banco Mundial. En este programa participan la CONANP y el FMCN, siendo éste último el responsable del manejo financiero, la canalización de recursos, la supervisión de la aplicación de los fondos y la procuración adicional; mientras que la CONANP es la responsable de asegurar que los fondos se ejerzan en las actividades prioritarias para lograr la conservación del sitio.

Durante el año 1998 el Global Environment Facility (GEF) evaluó un grupo de fondos ambientales a nivel mundial como parte de un estudio sobre el éxito de fondos patrimoniales en medio ambiente. Los resultados de este análisis abrieron las puertas para un segundo donativo entre 1999 y 2002. El primer donativo pasó a ser conocido como SINAP 1 y el segundo como SINAP 2, ya que ambos proyectos apoyan al Sistema Nacional de Áreas Protegidas. El FANP cuenta con un sistema de monitoreo diseñado en 1999, que ha permitido evaluar los avances anuales con base en cuatro indicadores generales del proyecto, así como indicadores de cada área protegida (FANP, 2008).

El programa de monitoreo permite medir los avances tanto del impacto en la conservación y uso sustentable de los recursos naturales, como el desempeño de los diferentes componentes. Este esquema en un inicio respondió a una planificación para cinco años considerando el periodo 1998 a 2003, donde se establecieron cuatro indicadores de impacto para todo el proyecto: *tasa de transformación del hábitat natural, frecuencia de observación de especies indicadoras, número de personas involucradas en proyectos de uso sustentable y número de hectáreas bajo esquemas de uso sustentable*. Como un indicador de contexto, se monitorea la tasa de crecimiento poblacional y su distribución dentro de las áreas núcleo, de amortiguamiento y de influencia de cada ANP.

Adicionalmente, cada ANP incluida en el proyecto contara con su propio sistema de monitoreo y evaluación, que a su vez servirá de sustento al esquema general. La conexión entre el esquema general y el específico son los cuatro indicadores de impacto en cada ANP, a partir de los cuales se ha diseñado su esquema de monitoreo y evaluación particular.

A partir del año 2000, cuando se creó la CONANP, se estableció como una de sus prioridades la evaluación de acciones, así como de los impactos generados en los ecosistemas y/o poblaciones. Para ello creó la Dirección de Evaluación y Seguimiento, cuyas atribuciones publicadas en el Reglamento Interior de la SEMARNAT, se refieren al establecimiento de sistemas, indicadores y procedimientos para la medición de impactos de las acciones de conservación y

sus avances en las ANP y la supervisión de estos a través del Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación (SIMEC). El sistema de monitoreo y evaluación del FANP complementa al SIMEC.

El monitoreo proporciona a los administradores y otros tomadores de decisiones, la información necesaria para llevar a cabo las acciones relacionadas con el funcionamiento general y el manejo sostenible del área. El Sistema de Monitoreo entonces, es un instrumento que orienta la gestión en el manejo del área protegida.

En este sentido uno de los temas ambientales que mayor controversia ha generado en los últimos años en México, es la magnitud y el ritmo al que se desmontan los bosques y selvas del país para convertirlos a otras formas de uso del suelo (campos de cultivo, potreros, zonas urbanas, etc.). El tema resulta de gran importancia ya que la deforestación es una de las principales amenazas para la biodiversidad, resultando en la pérdida de numerosos servicios ambientales

Los ecosistemas existentes dentro de las áreas protegidas son diversos y complejos, por lo que es importante establecer las condiciones actuales en que se encuentran. Conocer sus características (Superficie, forma y extensión) permitirá establecer parámetros básicos para la posterior valoración de cada ecosistema. En este sentido la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, representan herramientas que han demostrado su potencial en innumerables trabajos en todo el mundo, permitiendo identificar, tipificar y cuantificar tanto recursos naturales como algún tipo de fenómeno ya sea social, económico ó natural.

En términos generales, el proyecto tiene como objetivo calcular datos de Uso del Suelo y Vegetación de diferentes fechas; partiendo del establecimiento de una línea base como fecha de inicio y el uso de fechas posteriores que permitan llevar a cabo el respectivo seguimiento para su actualización con imágenes SPOT 4 y 5. Los datos permiten obtener posteriormente la tasa de transformación del hábitat, como indicador de impacto de las Áreas Naturales Protegidas que están

financiadas por el FANP y, cuyos trabajos fueron realizados por el área responsable del Sistema de Información Geográfica de la CONANP en coordinación con las regiones CONANP y las ANP con base en el *“Protocolo para la evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México”* (CONANP, 2007). Cabe hacer mención que las imágenes de satélite SPOT que son utilizadas son obtenidas a través de la Estación de Recepción México de la Constelación SPOT (ERMEXS).

## **Antecedentes**

La CONANP desarrolló a partir del 2000 el interés por conocer la dinámica de cambio en la cobertura vegetal en las ANP federales a partir del análisis de imágenes de satélite de diferentes épocas. En primera instancia fueron consideradas las ANP que se encuentran dentro del Fondo de Áreas Naturales Protegidas. Para este trabajo se utilizaron imágenes de satélite Landsat de los sensores MSS, TM y ETM, en un principio adquiridas del programa NALC (North America Landscape Characterization) a través de la CONABIO y la adquisición de las imágenes Landsat por parte de gobierno federal (INEGI, SEMARNAT, SAGARPA, etc).

Para el año 2004, la CONANP continuó con los trabajos de tasa de transformación del hábitat en colaboración con el proyecto de Manejo Integrado de Ecosistemas (MIE) analizando el Uso del Suelo y Vegetación en 3 Ecoregiones Prioritarias; Los Tuxtlas, la Chinantla y la Montaña, a través del uso de imágenes de satélite Landsat ETM y SPOT.

De igual forma en el año 2004 surge la necesidad de medir la Tasa de Transformación del Hábitat en las ANP, lo anterior como parte de los trabajos de reapropiación del programa de trabajo de la CONANP, estableciendo para ello como indicador las ANP's en donde *“se mantienen o reducen la velocidad de cambio de la transformación de los ecosistemas naturales”*. Las metas que se establecieron fueron un monitoreo anual y resultados que serían compilados en

una base de datos, generando documentos donde se reportarían los resultados, para 43 áreas Naturales Protegidas.

Para el año 2008, el FANP en coordinación con la CONANP llevaron a cabo la contratación del Dr. Víctor Sánchez Cordero para desarrollar el trabajo titulado *“Diagnóstico de la efectividad de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) Federales para prevenir el cambio en el uso del suelo y la vegetación”* (Cordero et. al., 2009). Este trabajo aborda la capacidad para contener procesos de cambio en la vegetación, en un conjunto de ANP federales.

En él se evaluó el porcentaje de superficie transformada en 2002 y la tasa de cambio de la superficie transformada entre 1993 y 2002. Además se realizó una comparación entre las tasas de cambio de la superficie transformada en las ANP, áreas circundantes a 10Km a partir de los límites de las ANP y, en sus ecoregiones.

Para este mismo año, con el fin de dar continuidad a los trabajos que el FANP había desarrollado en coordinación con la CONANP, se retoma la contratación de personal técnico para obtener la tasa de transformación del hábitat de 3 ANP (Maderas del Carmen, Sierra de los Álamos y Sierra la Laguna). Mientras que para el año 2009, el FMCN y la CONANP, se plantean la recopilación de los trabajos elaborados de tasa de transformación del hábitat para las ANP haciendo énfasis en las áreas que se encuentran dentro de los programas del SINAP 1 y SINAP 2 del Fondo para Áreas Naturales Protegidas.

En lo que respecta al año 2010, tanto el FMCN como la CONANP, establecen una consultoría con la finalidad de estimar y/o actualizar la tasa de transformación del hábitat para 11 ANP, que están incluidas en el SINAP I y II del Fondo para Áreas Naturales Protegidas. Para llevarlo a cabo, se tomara como base la información que se ha generado por el personal del SIG de la CONANP y por diferentes proyectos del FANP; la intención de esto es compilar los resultados en un documento que permita conocer los cambios que han ocurrido en las siguientes ANP:

Región Noreste y sierra Madre

1. APFF Cañón de Santa Elena
2. APFF Maderas del Carmen
3. APFF Cuatrocinegas
4. RB Mapimí

Región Occidente y Pacífico

5. RB Sierra de Manantlán
6. RB Mariposa Monarca

Región Frontera Sur y Pacífico Sur

7. RB El Triunfo
8. RB Selva El Ocote
9. RB Selva La Sepultura

Región Península de Yucatán y Caribe Mexicano

10. RB Calakmul
11. RB Ría Lagartos

El siguiente trabajo tiene como área de interés la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, entre sus principales características, esta Reserva representa una importante área de captación de agua de lluvia que alimenta a numerosos cuerpos de agua, quienes a su vez abastecen a los centros urbanos y localidades de la región, así como a las ciudades de México y Toluca. Además el área forma parte de una zona de enorme biodiversidad en donde se han registrado especies de plantas vasculares, hongos, diversos tipos de vegetación entre los que destacan los Bosques de Oyamel, hábitat característico de hibernación y reproducción anual de millones de mariposas monarca.

En cuanto a los trabajos que se han desarrollado en el área de estudio y que se refieren al tema de cambio de uso del suelo y vegetación, mencionaremos en primer lugar un informe realizado para el año 2004 por la **World Wildlife Fund** (WWF), en el habla sobre la tala ilegal, práctica común llevada a cabo dentro de la zona de la RBMM. En este trabajo presenta una serie de estudios de caso para algunos ejidos y comunidades, en todos los casos fue documentada la tala ilegal de bosques.

Por su parte Ramírez (2005), lleva a cabo un análisis regional del cambio en la cobertura forestal. En este trabajo, el autor menciona la presencia de una elevada extensión de bosques perturbados con predominio de vegetación

arbustiva secundaria y, la disminución de bosques dentro de los límites de la reserva; la cual se ha visto incluso incrementada desde el año 2000.

el reporte elaborado por López (2009), su trabajo hace un análisis comparativo de la cobertura forestal entre los años 2003 y 2009, dentro de este periodo, el autor reporta cambios graduales tanto positivos como negativos, aunque termina resaltando la existencia de una tendencia general del aumento en la densidad de cobertura debido al crecimiento del arbolado en áreas que han sido reforestadas, así como al crecimiento de la frondosidad de las copas de los árboles.

Los estudios mencionados tienen como característica la diferencia de materiales con lo que se trabajo, además de un método diferente que poco ayuda en la comparación de los datos que resultan. Sin embargo todos los trabajos que se realizan y que tienen que ver con los cambios que se presentan dentro de la reserva, representan un antecedente que en lo general coincide con la pérdida de masa forestal (en mayor o menor medida), y también con la necesidad de trabajar con un método común que haga comparables los resultados que se continúen obteniendo.

## **Objetivo**

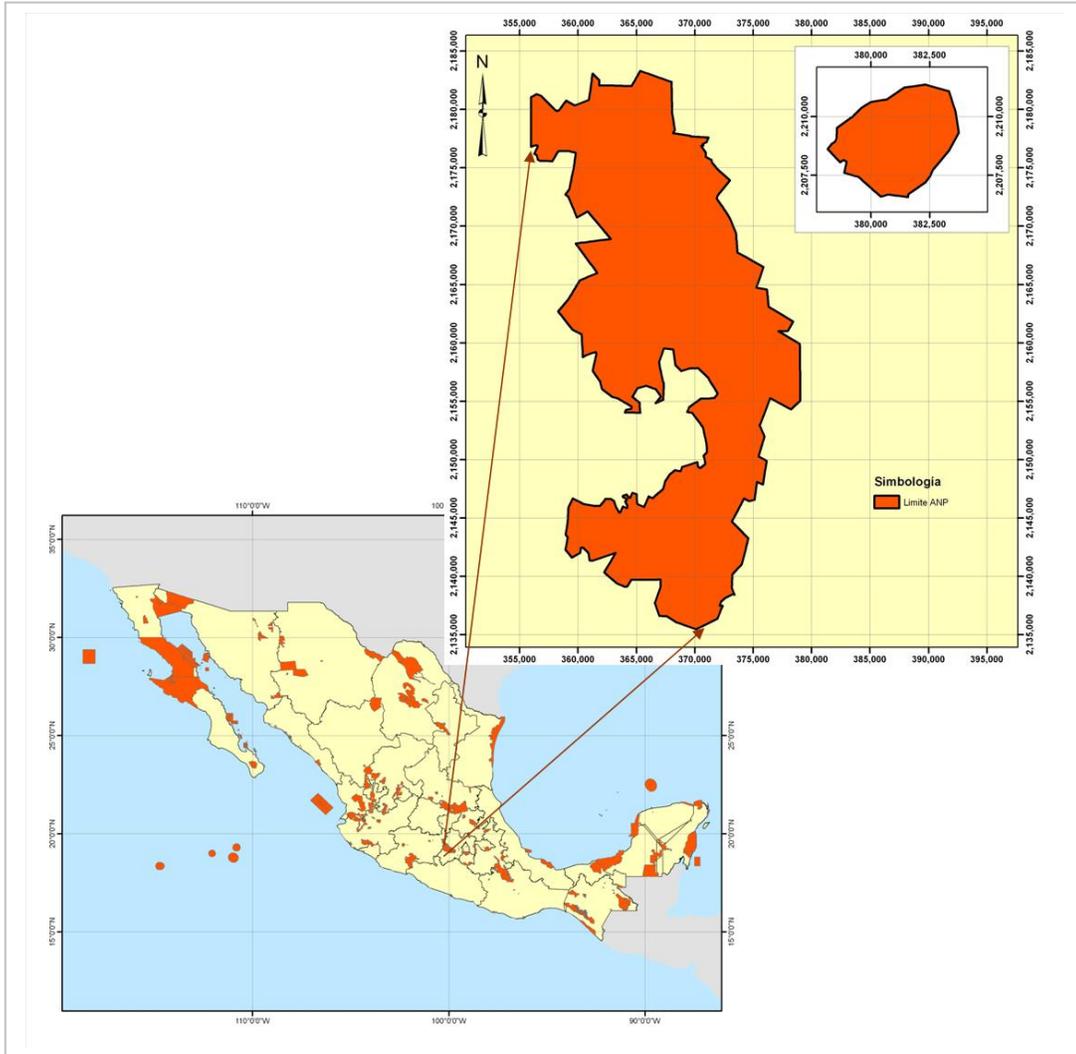
- ◆ Estimar y/o actualizar la tasa de transformación del hábitat de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca para los años 2000, 2004, 2006 y 2008.

## **Área de Estudio**

La Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca (RBMM) se localiza entre el Estado de México y el estado de Michoacán; se encuentra dentro de los municipios mexiquenses de Temascalcingo, San Felipe del Progreso, Donato

Guerra y Villa de Allende, y los michoacanos de Contepec, Senguio, Angangueo, Ocampo, Zitácuaro y Aporo (Figura 1). Tiene una superficie de 56, 259 hectáreas las cuales están divididas en 3 zonas núcleo cuya superficie total es de 13, 551 ha., y una zona de amortiguamiento con una superficie total de 42, 707 ha (D.OF., 2000).

Figura 1. Localización de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca



Pertenece a la Provincia Fisiográfica del eje Volcánico Transversal, la cual, posee un sistema montañoso discontinuo e intensamente disectado por fuertes procesos tectónicos. Este sistema se encuentra compuesto en su mayoría de un conjunto de sierras y lomeríos separados por valles intermontanos y llanuras. Las

elevaciones mayores se encuentran dentro de la zona de la Reserva, y corresponden al Cerro Altamirano (3 320 msnm), Campanario (3 640 msnm), Cerro El Mirador (3 340 msnm), Huacal (3 200 msnm), Chivatí (3 180), y el Cerro Los Modroños (3 040 msnm). En la posición sur destacan Cerro Pelón (3 500 msnm), Cacique (3 300 msnm), El Piloncillo (3 300) y, Cerro La Palma (3 300 msnm).

Esta zona tiene una gran importancia en términos de la captación pluvial y la recarga de acuíferos, propiciado por diversos factores que afectan el patrón de drenaje, tales como, la altitud, lo accidentado del relieve, el predominio de fuertes pendientes y la permeabilidad de los suelos. De acuerdo con la dirección de los principales escurrimientos la Reserva se ubica en la vertiente del Pacífico, particularmente en la porción sur de la región hidrológica n° 12 con nombre Lerma Santiago, así como en la porción sur de la región hidrológica n° 18 llamada Balsas.

El relieve montañoso que caracteriza al área está constituido por rocas volcánicas del Terciario que cubren secuencias metamórficas y sedimentos del Mesozoico, éstas rocas están sujetas a una intensa disectación fluvial que origina fuertes pendientes y escasez de depósitos aluviales produciendo una alta permeabilidad y por lo tanto corrientes superficiales poco desarrolladas. Topográficamente se presentan pendientes pronunciadas, más de la mitad de la región presenta desniveles mayores a los 15 grados, con suelos medianamente desarrollados y una erosión que va de ligera a fuerte.

La porción norte del área natural protegida presenta rocas ígneas extrusivas intermedias mezcladas con fragmentos andesíticos formando capas masivas originarias del terciario, con fracturamiento moderado. Al sur de la reserva existen capas de material piroclástico cubierto en su mayoría por capas combinadas de andesitas, en donde destaca un grupo de fracturas con distribución reticular localizadas en Cerro Pelón. La existencia de diversos aparatos volcánicos es predominante y los flujos de rocas ígneas se presentan de forma radial a partir del punto más alto de todas las elevaciones.

La región de la RBMM, presenta en general un clima Cw, templado subhúmedo con lluvias en verano, temperaturas medias anuales de 8° a 22° C, con precipitaciones promedio desde 700 mm y hasta 1 250 mm, las temperaturas mínimas del mes más frío están entre -3° C y 18° C. Este tipo de clima cambia en distancias relativamente cortas debido a la presencia de montañas, sierras y relieves escarpados que dan lugar a cambios contrastados en altitud, exposición o pendiente y producen variantes microclimáticas.

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García, se presentan los siguientes subtipos climáticos:

Tipo Clima	Descripción
<b>(A) C w0</b>	Semitemplado subhúmedo, el más seco
<b>(A) C w1</b>	Semitemplado subhúmedo, intermedio en humedad
<b>(A) C w2</b>	Semitemplado subhúmedo, el más húmedo*
<b>C w1</b>	Templado Subhúmedo, intermedio en humedad
<b>C w2</b>	Templado Subhúmedo, el más húmedo

\*Predomina en el subsistema montañoso y está íntimamente ligado a la distribución de la mariposa monarca.

Los intensos y acelerados procesos de descomposición de la abundante materia orgánica, en conjunto con la composición litológica de la zona (andesitas, basaltos, riolitas, granitos, esquistos y tobas) propician las condiciones para la formación de suelos. Los suelos predominantes son de tipo andosol húmico y órtico y en menor extensión acrisol y planosol, feozem, litosol, luvisol y, en menor proporción cambisol, regosol y vertisol; todos derivados de cenizas volcánicas, ligeros y de alta capacidad de retención de agua.

Sobre los suelos antes mencionados se ha desarrollado varios tipos de vegetación, los cuales durante décadas han sufrido una intensa presión que ha provocado la pérdida de masa forestal. En la reserva se establece un predominio de coníferas, a continuación se describen sus asociaciones. El *Bosque de Oyamel*, comunidad más representativa de la zona núcleo se distribuye desde los 2 400 hasta los 3 600 msnm, se caracteriza por el predominio de *Abies religiosa* y constituye el hábitat característico de la mariposa Monarca.

En las áreas perturbadas, principalmente en las laderas, se desarrolla un estrato arbóreo inferior con presencia de géneros como *Quercus*, *Alnus*, *Arbutus*, *Salix* y *Prunus*; mientras que el estrato arbustivo y el herbáceo se encuentran representados por los géneros *Juniperus*, *Eupatorium*, *Stevia* y *Archibaccharis*.

El *Bosque de Pino y Oyamel*, se localiza en una franja altitudinal que va de los 2 400 hasta los 3 000 msnm, pero su distribución horizontal se extiende por casi toda la región y su diversidad florística es muy amplia, a tal grado que está conformado por 4 estratos. El primero constituido por *Abies* y especies del género *Pinus*; el segundo por especies como *Arbutus granulosa*, *Salix paradoxa*, *Alnus firmifolia* y *Quercus spp.* En el tercer estrato, el herbáceo, destacan especies como *Senecio prenanthoides*, *S. tolucanus*, *S. sanguisorbae*, *Acaena elongata*, *Oxalis spp.*, entre otras. Por su parte, en el cuarto estrato se presentan diversas especies de musgo, así como *Viola sp.*, *Sibthorpia pichinchensis*, *Oenothera sp.*, y *Oxalis spp.*

Por su parte el *Bosque de Pino*, se presenta en manchones aislados, la mayor parte de ellos se desarrollan a altitudes entre 1 500 y 3 000 msnm, se encuentran asociados a los sitios más húmedos o en declives fuertes. En estos casos predomina el *Pinus pseudostrobus*, en suelos más someros o en condiciones secas se da lugar a asociaciones de *Pinus rudis* y *Pinus teocote*, así como *Pinus oocarpa* y *Pinus michoacana* en las partes medias y bajas más escarpadas.

El Bosque de encino está asociado a procesos de sucesión en áreas desprovistas de su vegetación originaria, su distribución se da por debajo de la cota 2 900 msnm, aunque en algunos lugares se llega a encontrar hasta los 3 100 msnm. Las especies *Quercus laurina*, *Clethra mexicana*, *Alnus firnifolia*, *Salix paradoxa*, entre otras destacan en el estrato arbóreo. El *Bosque de Cedro* se encuentra compartiendo espacio con el bosque de encino principalmente al sur del Área Natural Protegida, en el Santuario de Cerro Pelón a una altitud de entre 2 400 y 2 600 msnm. Esta área es especialmente relevante ya que si se considera la biodiversidad de especies que posee, se tienen registradas 493 especies de plantas vasculares, así como 49 especies de hongos entre otras.

En la Región de la RBMM se tienen especies representativas de dos grandes regiones biogeográficas, la Neártica y la Neotropical. En la Reserva han sido reportadas 198 especies de vertebrados, 132 especies de aves y 56 de mamíferos. Asimismo la Reserva alberga especies que se encuentran bajo diferentes categorías de protección además de la mariposa Monarca *Danaus plexippus plexippus* que se encuentra en protección especial.

## **Material**

### ***Polígono oficial***

El polígono se obtuvo de la base cartográfica de la cobertura de Áreas Naturales Protegidas Federales de México, la cual fue elaborada a partir de la descripción de los decretos publicados en el Diario Oficial de la Federación, esta cobertura se encuentra en formato compatible ArcInfo con una proyección cartográfica en Geográficas y un Datum Horizontal ITRF92.

### ***Imágenes de satélite***

En el acervo histórico de la Subdirección a cargo del Sistema de Información Geográfica de la CONANP se cuenta con imágenes de satélite

Landsat ETM del año 2000, las cuales se usaron para esta área de estudio, las imágenes están integradas por 6 bandas multiespectrales y su correspondiente pancromática (Tabla 1).

Tabla 1.- Imágenes Landsat ETM

Satélite	Path	Row	Fecha	Resolución (metros)	Número de bandas
ETM	27	46	21-Abr-00	30	6
ETM	27	46	21-Abr-00	15	1
ETM	27	47	21-Abr-00	30	6
ETM	27	47	21-Abr-00	15	1

Asimismo, se tomó como base el polígono de la RBMM, para determinar las imágenes de satélite SPOT necesarias para este trabajo, mismas que fueron solicitadas a la Estación de Recepción México del satélite SPOT (ERMEXS) a través de la Subdirección de Área a cargo del Sistema de Información Geográfica de la CONANP como gestor oficial. Un total de 8 imágenes fueron solicitadas y utilizadas para el cubrimiento completo del área de estudio (Tabla 2).

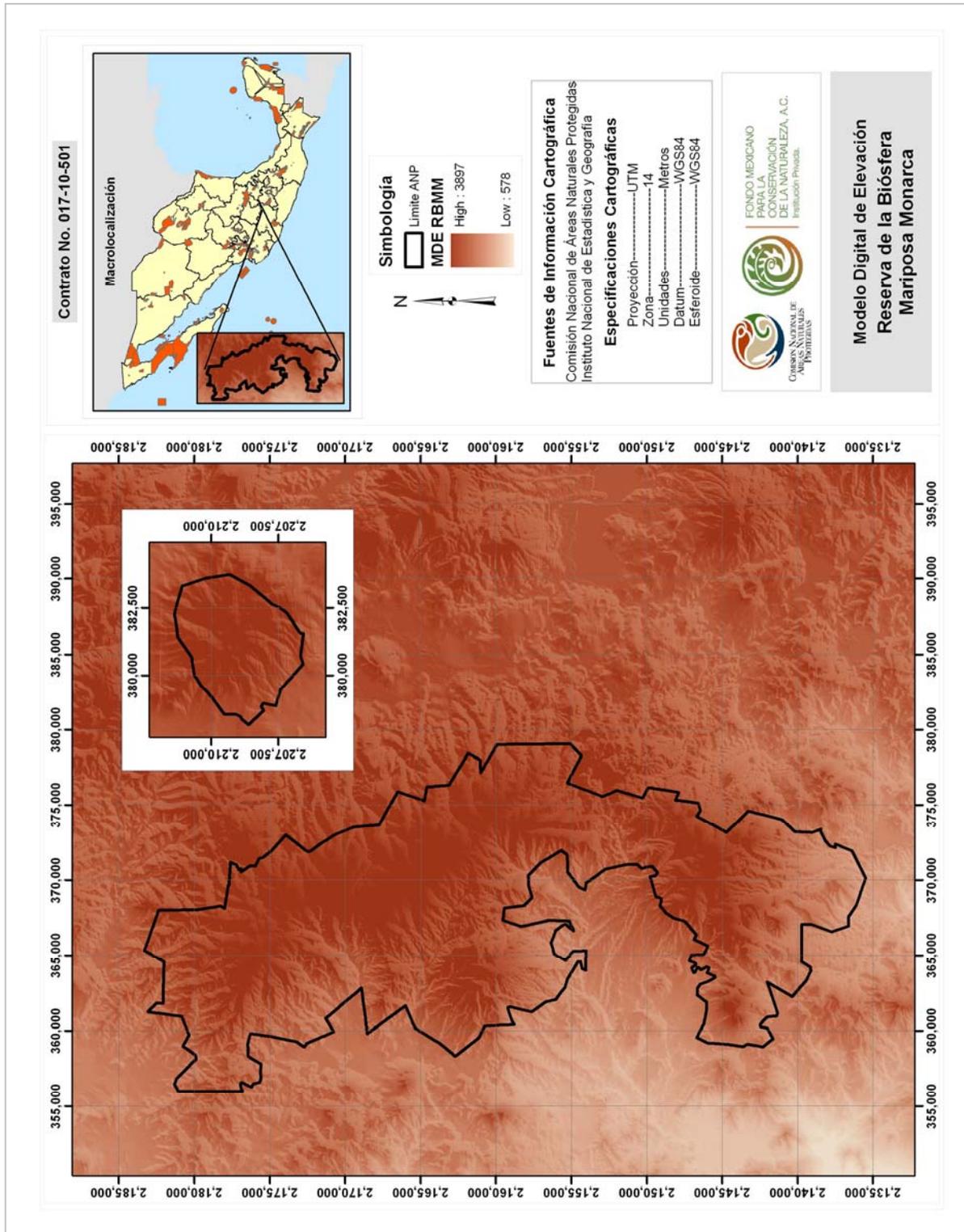
Tabla 2.- Imágenes de satélite SPOT para la RBMM

Sensor	K	J	Fecha	Resolución espacial (metros)	Número de bandas	Tipo	Nivel de Procesamiento
SPOT	585	311	01-Feb-04	2.5	1	Pancromática	1A
SPOT	585	311	01-Feb-04	10	4	Multiespectral	1A
SPOT	586	311	01-Feb-04	2.5	1	Pancromática	1A
SPOT	586	311	01-Feb-04	10	4	Multiespectral	1A
SPOT	586	311	03-Feb-06	2.5	1	Pancromática	1A
SPOT	586	311	03-Feb-06	10	4	Multiespectral	1A
SPOT	585	311	28-Ene-08	2.5	1	Pancromática	1A
SPOT	586	311	28-Ene-08	2.5	4	Multiespectral	1A

### **Modelo Digital de Elevación (MDE)**

La figura 2 muestra el MDE, en una rampa de colores en tonalidades del rojo, las zonas más intensas indican las partes más elevadas dentro de la RBMM.

Figura 2.- Modelo Digital de Elevación INEGI, 1:50,000



## **Metodología**

La metodología empleada ha sido establecida en el “*Protocolo para la evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México*” elaborado por la Subdirección de Análisis de Información Espacial de la CONANP en el 2007. Con la intención de que los resultados de cambio de Uso de Suelo y Vegetación puedan ser comparados con otras Áreas Naturales Protegidas de México.

La leyenda de los tipos de uso del suelo y vegetación, que se identificaron se agruparon con base en la clasificación de Rzedoswski, 1983; UNAM, 2000 e INEGI serie III.

### ***Rectificación de imágenes de satélite***

Para la rectificación geométrica de las imágenes, se emplea el Modelo Digital de Elevación (MDE) escala 1:50,000 del INEGI, y la información de las efemérides que incluye la posición del satélite al momento de capturar las escenas SPOT. El programa ERDAS trabaja con estos insumos y permite realizar el proceso de ortorectificación de una manera más sencilla y rápida obteniendo un mejor resultado en comparación con el proceso de georeferenciación. Las imágenes son procesadas en el programa ERDAS 8.7.

Al utilizar las efemérides del sensor SPOT5 se definen los parámetros de orientación interior y exterior, por lo cual se puede proceder directamente, con apoyo del Modelo Digital de Elevación, a coleccionar de forma automática los datos de altitud (Z) y realizar la ortorectificación directamente sobre las escenas.

En Spot 4 y Spot 5 la información suministrada por el pasajero DORIS permite obtener una rectificación con una precisión inferior a 1 m. Esto sólo concierne a la posición del satélite en su órbita. La precisión final de localización de las imágenes en tierra también es función de la precisión de la puntería del satélite y sus instrumentos (actitud del satélite, ángulo de puntería del espejo, etc.).

Las características técnicas, espaciales y espectrales de las imágenes SPOT5, adicionado con las herramientas de erdas Imagine y el conocimiento de personal especializado, ha permitido realizar las actividades de ortorectificación de manera automatizada, disminuyendo casi en un 90% del tiempo destinado para realizar estos procesos pre-clasificatorios.

### ***Clasificación de imágenes de satélite***

Una vez rectificadas geométricamente las imágenes multiespectrales se realiza un falso color RGB 1,2,3 (verde, rojo e infrarrojo) resaltando en rojo la vegetación existente, esto permite una mejor evaluación visual de la imagen y su posterior interpretación visual. La observación de las cubiertas vegetales puede apoyarse en el gran contraste cromático que presenta la vegetación vigorosa entre las distintas bandas del espectro, y singularmente entre el visible (alta absorción, baja reflectividad) y el IRC (alta reflectividad) (Hutchinson, 1982; Travaglia, 1990). Por otra parte, se tomaron como base para establecer los campos de entrenamiento correspondientes a las firmas espectrales, el Inventario Forestal Nacional 2000-2001, escala 1:250,000 y la cobertura de Uso de Suelo y Vegetación INEGI Serie III, además de la base con los límites del área de estudio.

La firma espectral se define como un patrón de respuesta característico de los elementos de la superficie terrestre, resultado de su interacción con la energía electromagnética. La base de una clasificación es encontrar áreas del espectro electromagnético en las cuales la naturaleza de esta interacción sea diferente para los materiales dentro de la imagen (Hutchinson, 1982). Las firmas espectrales son verificadas a través de un método gráfico denominado “diagrama de firmas” donde el valor medio de la reflectancia de la respuesta espectral de cada firma es graficado para todas las bandas.

Una vez ya definidas y evaluadas las firmas espectrales con base a la leyenda de trabajo, se ordenaron los píxeles de la imagen en distintos valores de clases, usando una regla de decisión a través de una clasificación supervisada. El algoritmo matemático utilizado, es el de Máxima Probabilidad, la cual se basa en

la probabilidad de que un píxel pertenezca a una clase particular, a partir de sus vectores de medias y matrices de varianza – covarianza (Bartolucci, 1979; UNIGIS, 2002). La ecuación asume que estas probabilidades son iguales para todas las clases y que las bandas de entrada tienen distribuciones normales.

De la clasificación se obtiene el porcentaje por clase, con la finalidad de establecer a cada categoría la probabilidad indirecta equivalente a la superficie que ocupa en el área de estudio. A través de una variante de la regla de decisión de la máxima probabilidad que se conoce como regla de decisión Bayesiana (Teoría de Probabilidad Bayesiana), este método asemeja la distribución real de los niveles digitales en esa categoría, por lo que nos permite calcular la probabilidad de que un píxel (con un determinado nivel digital) sea miembro de ella (Chuvieco, 2000; Eastman, 1999). El cálculo se realiza para todas las categorías que intervienen en la clasificación, asignando el píxel a aquélla que maximice la función de probabilidad.

Una vez que se efectuó la clasificación automatizada, ésta es complementada con una interpretación visual en pantalla. En este marco, se puede aprovechar los beneficios del análisis de interpretación visual (incluyendo criterios de contexto, textura, formas complejas que puede emplear el intérprete), así como la flexibilidad y potencia del tratamiento digital (imagen georeferida, mejoramiento en su aspecto visual, digitalización de la información en pantalla, etc.). Se trata de una interpretación asistida por el ordenador, que elimina diversas fases de la interpretación visual clásica (restitución, inventario). Con la interacción visual el intérprete puede resolver algunos problemas del tratamiento digital ya que este encuentra notables dificultades para automatizar la interpretación de ciertos rasgos de la imagen (algunas nubes, áreas urbanas, etc.) que son bastante obvios al análisis visual.

Las clasificaciones obtenidas fueron transformadas hacia formato vectorial (ArcInfo), en donde son modificados aquellos polígonos que no se encontraron acorde con el límite del tipo de uso del suelo y vegetación, a través de la interpretación visual justo como lo marca el método de la FAO 2000 (FAO, 2001).

Asimismo es eliminada el área mínima cartografiable de 2 mm<sup>2</sup> a 10,000 metros cuadrados para una escala de 1:50,000.

El tratamiento digital permite realizar operaciones complejas o inaccesibles al análisis visual, sin embargo el análisis visual es una alternativa para modificar la cartografía generada a partir de un análisis digital, identificando clases heterogéneas. Auxiliando la clasificación digital, aislando sectores de potencial confusión sobre la imagen, o estratificando algunos sectores de la imagen para aplicarles tratamientos específicos.

De esta forma cuando la cobertura de uso de suelo y vegetación (USV) se encuentra debidamente corregida y delimitada, es transferida hacia ArcMap para elaborar los mapas y obtener la superficie correspondiente a cada categoría.

### ***Áreas de cambio***

La detección de cambio en la cubierta vegetal, tiene como objetivo analizar sí los rasgos presentes en un determinado territorio se han modificado en un periodo que esté caracterizado por dos o más fechas; y haciendo referencia al tipo de transformación.

La cuantificación de cambio resulta de la diferencia entre los mapas de distintas fechas, mediante sobreposición cartográfica. De ello resulta una matriz de transición, con un valor para cada clase que ha cambiado, y una indicación de aquellas clases sin cambio. También se deriva una evaluación de clases de cobertura y uso, atractoras de territorio de otras clases y, de coberturas que pierden territorio con otras clases (UNAM, 2000).

El cruce de los mapas se realizará en Arcinfo. Del mapa de cambio se exporta la base de datos a un archivo \*.dbf del cual se obtienen datos de superficie total por categoría y la diferencia de superficie entre clases de una fecha a otra. De acuerdo con Ramírez y Zubieta (2005), se maneja la siguiente matriz de transición que incluye la reagrupación de categorías de acuerdo al tipo de transformación al que hayan sido sometidos dentro del periodo:

**Deforestación.** Pérdida del arbolado, denso o abierto, por cambio a usos No Forestales.

**Perturbación.** Pérdida o aclarado del arbolado sin cambio en el uso de suelo.

**Recuperación.** Restablecimiento de arbolado denso sobre áreas perturbadas, aclaradas o de vegetación arbustiva.

**Revegetación.** Establecimiento de vegetación secundaria por abandono de parcelas agrícolas, pecuarias o vegetación recuperada después de algún evento de rápida transformación sobre la cobertura vegetal (áreas afectadas por incendios, deslaves, inundaciones, etc).

**Crecimiento urbano.** Incremento de la superficie ocupada por áreas habitacionales o industriales.

**Cambios en nivel del agua.** Aumento o descenso en el nivel de los cuerpos de agua.

**Vegetación conservada sin cambio.**

**Vegetación perturbada sin cambio.**

**Usos agropecuarios sin cambio.**

**Otras cubiertas sin cambio.**

		Uso de Suelo y Vegetación Fecha 2												
		Clases	B1	B2	B...n	Bp1	Bp2	Bp...n	A1	A2	A...n	U	Agua	TOTAL 1
Uso de Suelo y Vegetación Fecha 1	B1													
	B2		B											
	B...n													
	Bp1													
	Bp2					Bp								
	Bp...n													
	A1													
	A2								A					
	A...n													
	U													
	Agua													
		TOTAL 2												

- Deforestación
- Perturbación
- Recuperación
- Revegetación
- Crecimiento urbano
- Cambios en el nivel de :
- B Vegetación conservada sin cambio
- Bp Vegetación perturbada sin cambio
- A Usos agropecuarios sin cambio
- O Otras cubiertas sin cambio

Diseño de la Matriz de Transición. Los datos se ordenan de mayor a menor grado de antropización de la cubierta, excepto el agua. B = Vegetación Primaria (Bosque-Selvas Densos); Bp= Vegetación Secundaria ( Bosque-Selva perturbado); A= Usos Agropecuarios; U= Zona Urbana; Agua = Cuerpos de Agua (lagos, lagunas, ríos, etc.).

### **Tasa de Transformación**

Los tipos de Uso del Suelo y Vegetación presentes, se agruparon en forestal y no forestal. La primera contiene al conjunto de plantas dominadas por especies arbóreas, arbustivas o crasas, que crecen y se desarrollan en forma natural formando bosques, selvas y vegetación de zonas áridas (Ley Forestal, 1997) y la segunda agrupa los usos de suelo derivados de actividades antrópicas y/o desastres naturales. Con base a la información obtenida, de la agrupación de los tipos de vegetación, y tomando como base la superficie terrestre de la reserva, se calculó la tasa de transformación del hábitat de acuerdo a la ecuación utilizada por la FAO (1996), expresada de la siguiente manera:

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

Donde:

$\delta$  = tasa de cambio

$S_1$  = superficie forestal, al inicio del periodo

$S_2$  = superficie forestal, al final del periodo

$n$  = número de años entre las dos fechas

Utilizando como herramienta los SIG, se realiza la intersección entre las coberturas de cada fecha, obteniendo los polígonos que marcan el cambio de uso de suelo. La operación se realiza sobreponiendo la primera fecha sobre la segunda. Después se calcula el área de los polígonos de cambio para generar la base datos, con las propiedades de cada polígono. A partir de esta información se generan las matrices de transición, con los datos de la intersección, donde se muestran las pérdidas y ganancias de cada fecha. La matriz contiene en el eje vertical de tipos forestal y en el horizontal los no forestal, en las celdas se estima la superficie del tipo de vegetación que pasó a otra categoría, permitiendo entender la dinámica de cambio dentro del periodo.

## Resultados

### *Imágenes de satélite*

Las imágenes finales tienen como especificaciones de referencia, una proyección cartográfica UTM, Zona 14, Datum-WGS84, Esferoide-WGS84 y unidades métricas. En las siguientes figuras se presentan las imágenes que fueron utilizadas representadas en distintas combinaciones de falso color y color natural.

En la imagen Landsat ETM del año 2000 (figura 3) se aprecia una combinación en color natural, bandas 3, 2, 1, con la vegetación vigorosa en verde. Mientras que en las imágenes SPOT de los años 2004, 2006 y 2008 se puede apreciar una combinación en falso color de las bandas 1, 2, 3 que corresponde al verde, rojo e infrarrojo (Figura 4, 5 y 6).

Figura 3.- Imagen de satélite Landsat ETM 2000, falso color RGB 3 2 1

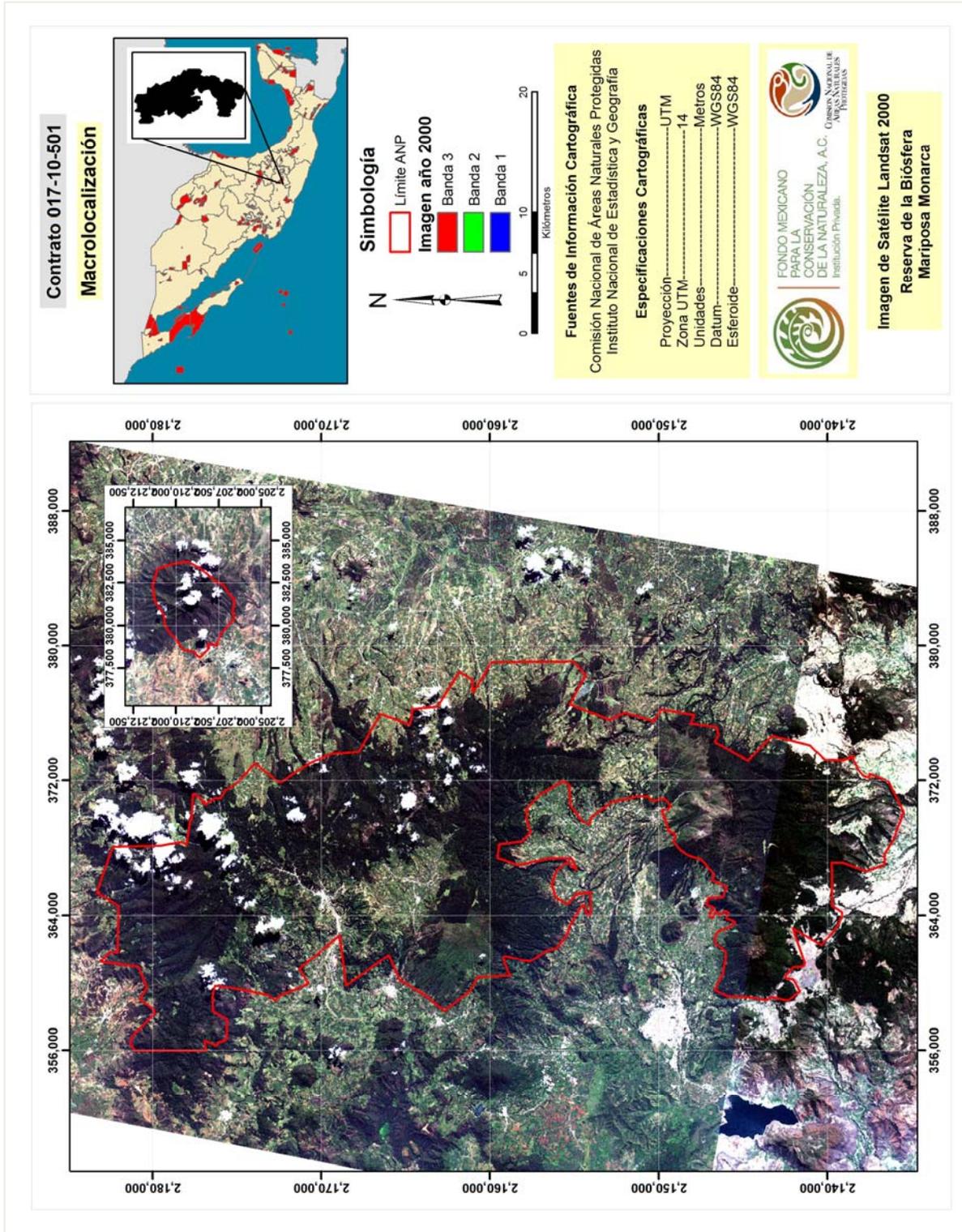


Figura 4.- Imagen de satélite SPOT 2004, falso color RGB 1,2,3

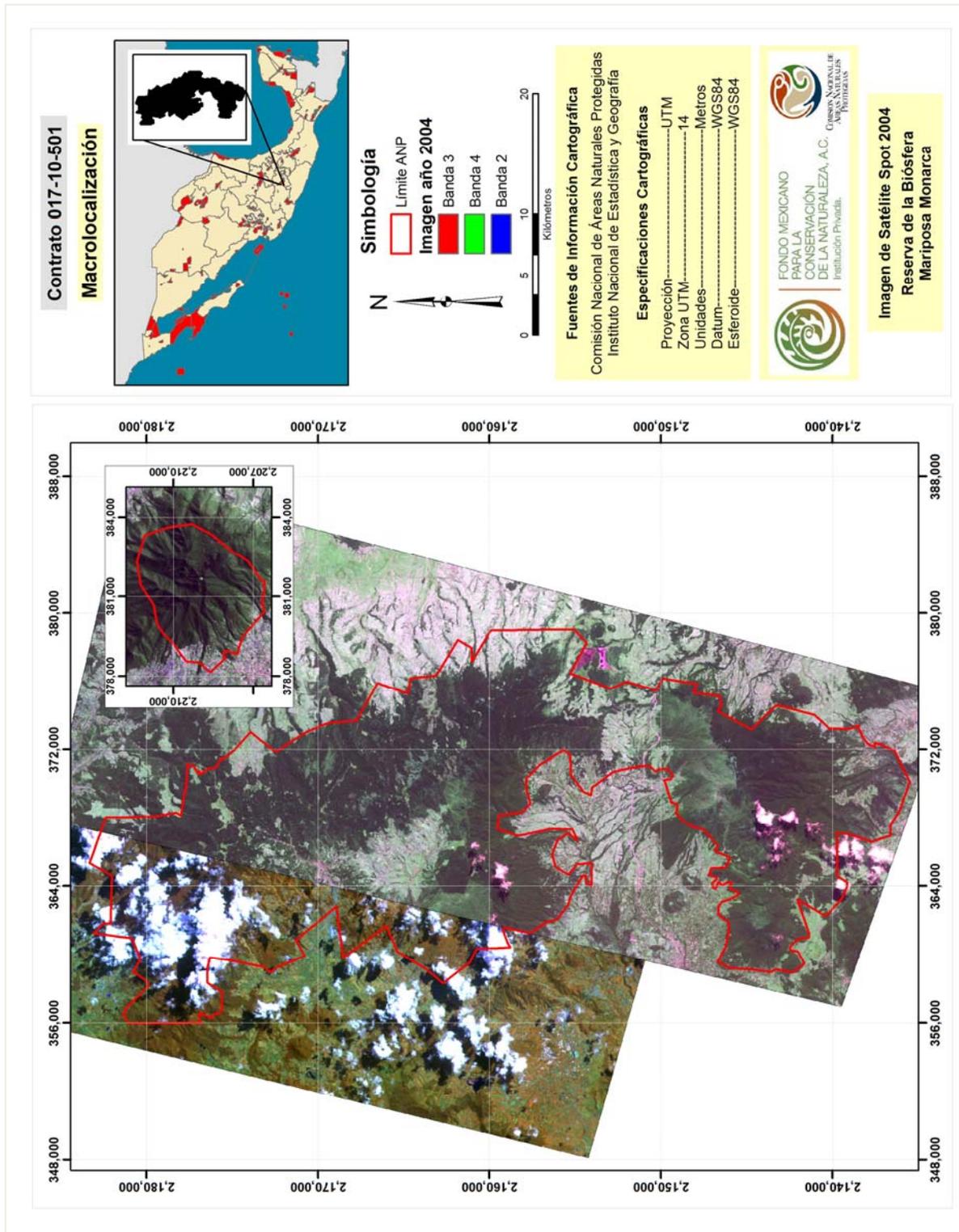


Figura 5.- Imagen de satélite SPOT 2006, falso color RGB 1,2,3

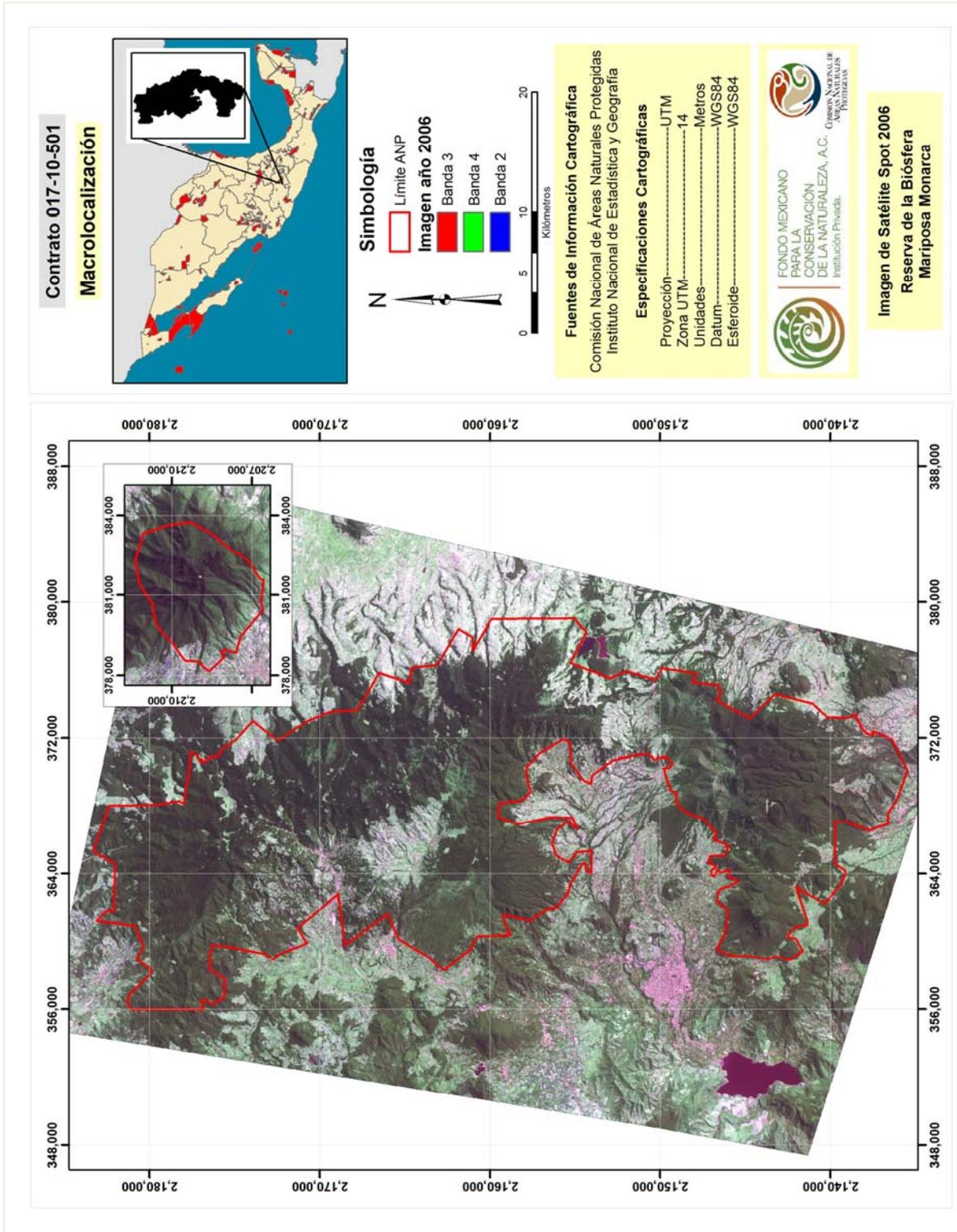
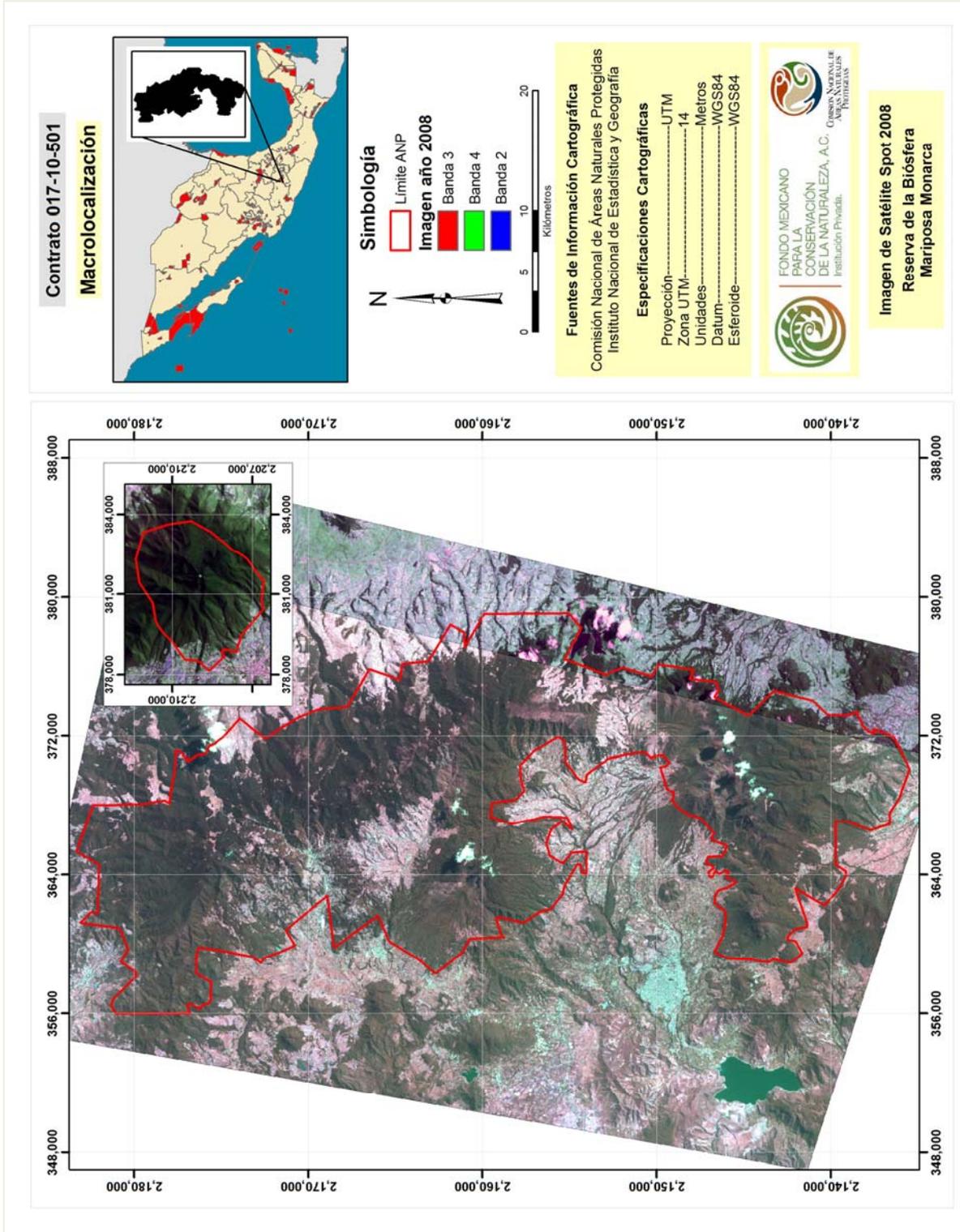


Figura 6.- Imagen de satélite SPOT 2008, falso color RGB 1,2,3



### Uso del Suelo y Vegetación

En la tabla 3, se presenta la superficie por tipo de Uso del Suelo y Vegetación para los años 2000, 2004, 2006 y 2008. Las superficies se encuentran agrupadas en Forestal y No Forestal, así como en Otros; que incluye a los cuerpos de agua. En el grupo forestal para los años 2000, 2004 y 2006; las cubiertas forestales ocupan el 77.0% 76.72% y 76.58%; mientras que en el año 2008 la superficie total de la reserva es de 75.78%. Dentro de esos porcentajes, las cubiertas de las categorías Oyamel y Pino-encino son las que mayor superficie ocupan (ver tabla3).

Tabla 3.- Superficie de Uso del Suelo y Vegetación para los años 2000, 2004,2006 y 2008

CUBIERTA DEL SUELO (Ha)									
	2000	%	2004	%	2006	%	2008	%	
<b>Cubierta forestal</b>									
Area sin Vegetacion Aparente	5	0.01	5	0.01	5	0.01	5	0.01	0.01
Encino	88	0.16	73	0.13	71	0.13	71	0.13	0.13
Oyamel	16,816	29.89	16,634	29.57	16,579	29.47	16,362	29.08	29.08
Pino	6	0.01	6	0.01	6	0.01	6	0.01	0.01
Pino-Encino	13,567	24.11	13,371	23.77	13,361	23.75	13,169	23.41	23.41
Arbustos Secundarios	1,289	2.29	1,314	2.34	1,267	2.25	1,243	2.21	2.21
Encino Abierto	300	0.53	315	0.56	316	0.56	317	0.56	0.56
Oyamel Abierto	3,358	5.97	3,405	6.05	3,431	6.10	3,363	5.98	5.98
Pino-Encino Abierto	7,893	14.03	8,040	14.29	8,049	14.31	8,097	14.39	14.39
<b>Subtotal</b>	<b>43,320</b>	<b>77.00</b>	<b>43,161</b>	<b>76.72</b>	<b>43,085</b>	<b>76.58</b>	<b>42,631</b>	<b>75.78</b>	<b>75.78</b>
<b>Cubierta no forestal</b>									
Agricultura de Temporal	9,080	16.14	9,095	16.17	9,105	16.18	9,112	16.20	16.20
Area impactada por incendios	1,669	2.97	1,381	2.46	816	1.45	731	1.30	1.30
Area impactada por tala	55	0.10	131	0.23	150	0.27	559	0.99	0.99
Asentamientos Humanos	167	0.30	171	0.30	172	0.31	173	0.31	0.31
Pastizal Inducido	1,962	3.49	2,314	4.11	2,926	5.20	3,047	5.42	5.42
<b>Subtotal</b>	<b>12,933</b>	<b>22.99</b>	<b>13,092</b>	<b>23.27</b>	<b>13,169</b>	<b>23.41</b>	<b>13,622</b>	<b>24.21</b>	<b>24.21</b>
Cuerpo de agua	7	0.01	7	0.01	7	0.01	7	0.01	0.01
<b>Subtotal</b>	<b>7</b>	<b>0.01</b>	<b>7</b>	<b>0.01</b>	<b>7</b>	<b>0.01</b>	<b>7</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>
<b>Total</b>	<b>56,260</b>	<b>100</b>	<b>56,260</b>	<b>100</b>	<b>56,260</b>	<b>100</b>	<b>56,260</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

El grupo No forestal, ocupa el 22.99% en el año 2000, 23.27% en el año 2004 y 23.41% en el año 2006, para el año 2008 la superficie que ocupan este grupo de categorías es de 24% de la superficie total de la Reserva. En este grupo, la clase Agricultura de temporal es la que se encuentra mayormente representada con 16% de la superficie ocupada. Dentro de este grupo tenemos a la clase Pastizal inducido como la segunda con un porcentaje de ocupación mayor a las demás categorías (ver tabla 3).

Los mapas (Figuras 7, 8, 9 y 10) muestran la secuencia de los grupos Forestal y No Forestal en los años 2000, 2004, 2006 y 2008. El color verde representa a las categorías del grupo Forestal, mientras que el color amarillo corresponde a las áreas que corresponden al grupo No forestal.

Figura 7.- Grupo Forestal-No Forestal años 2000

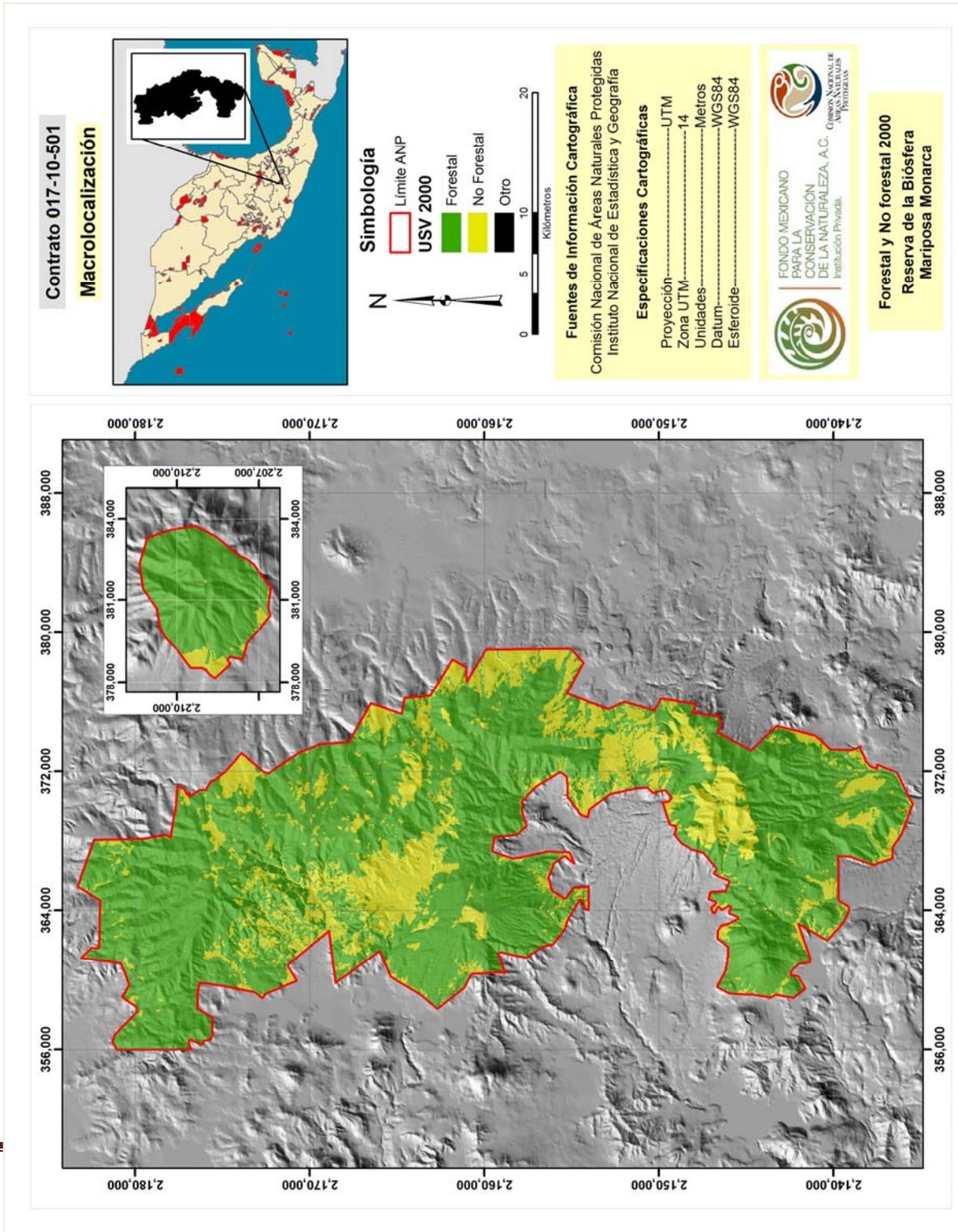


Figura 8.- Grupo Forestal-No Forestal años 2004

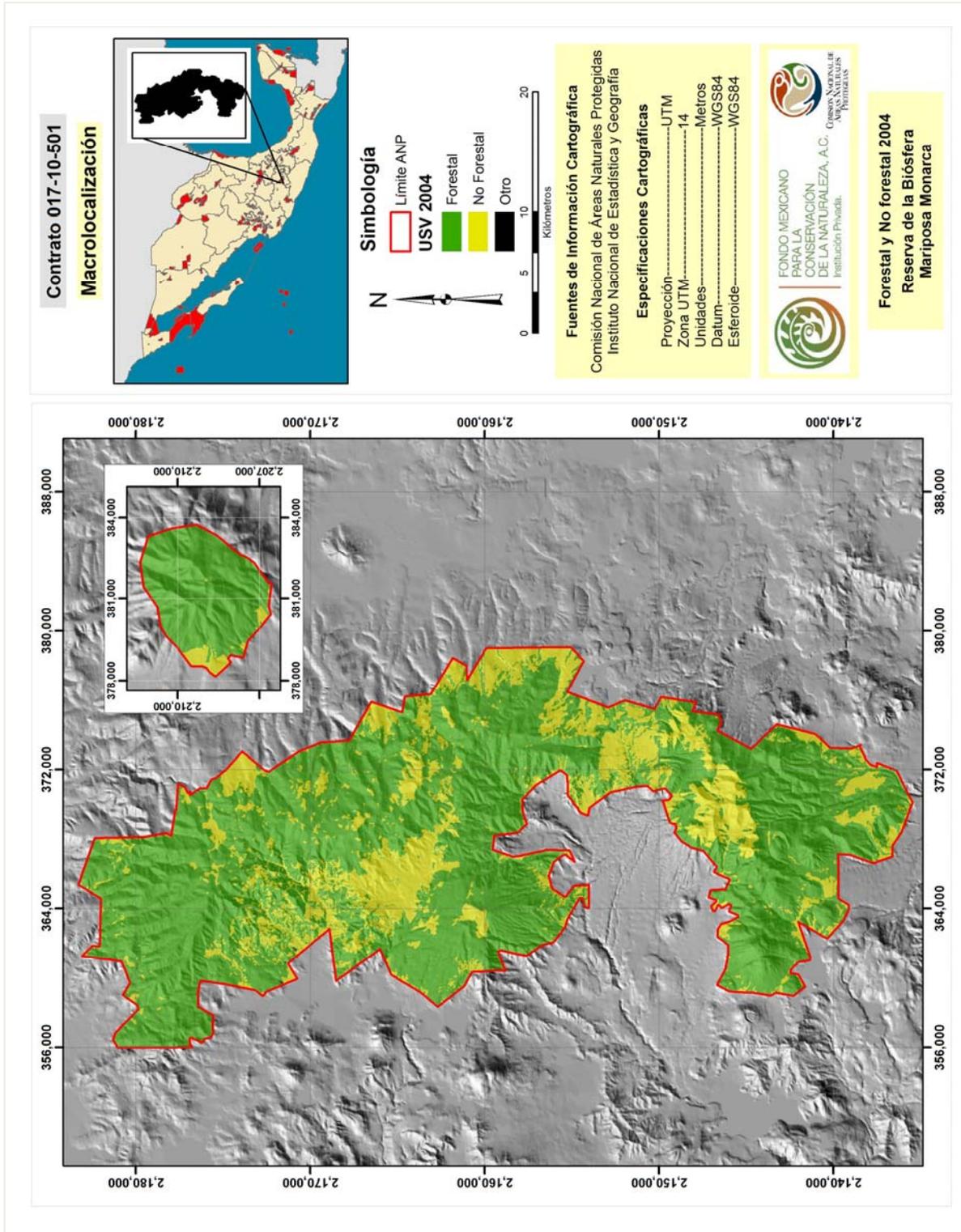


Figura 9.- Grupo Forestal-No Forestal años 2006

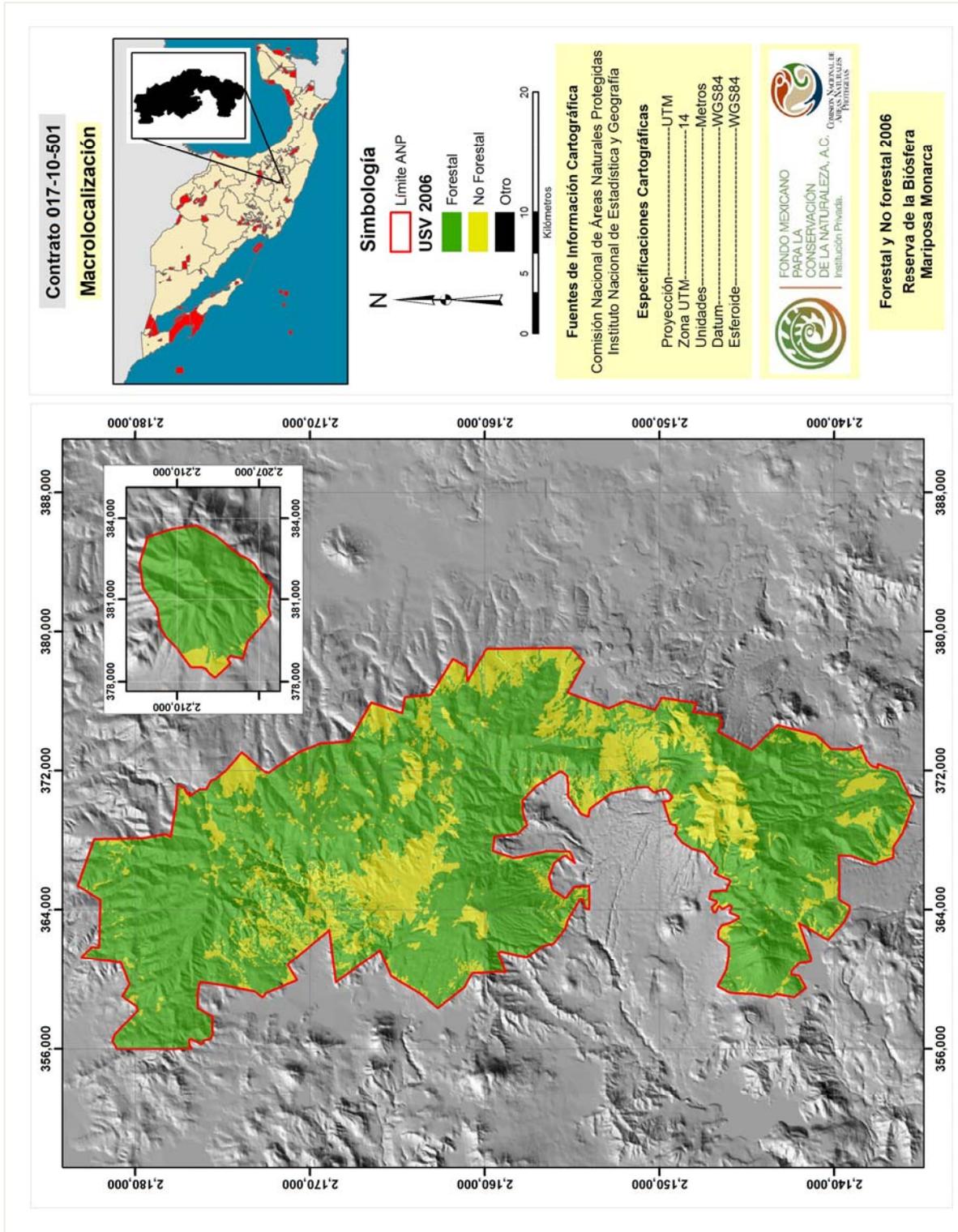
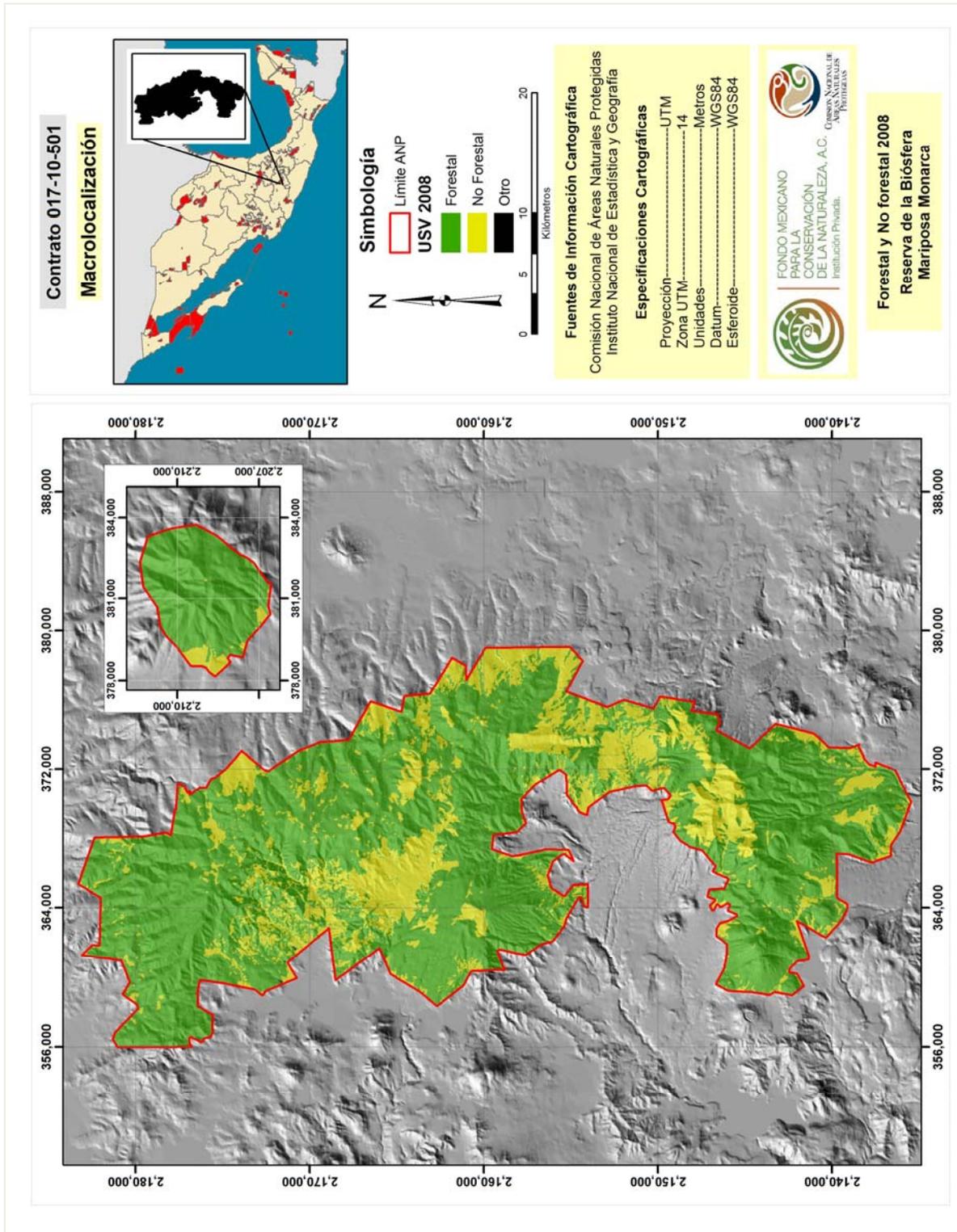


Figura 10.- Grupo Forestal-No Forestal años 2008



En la tabla 4 se muestran los datos de superficie para los años 2000, 2004, 2006 y 2008. En ella podemos observar que en un periodo de 8 años, el rubro Forestal ha disminuido 689 hectáreas, mismas que de alguna manera representan cierta ganancia en el rubro No forestal (ver tabla 4).

Tabla 4. Superficie Forestal- No Forestal

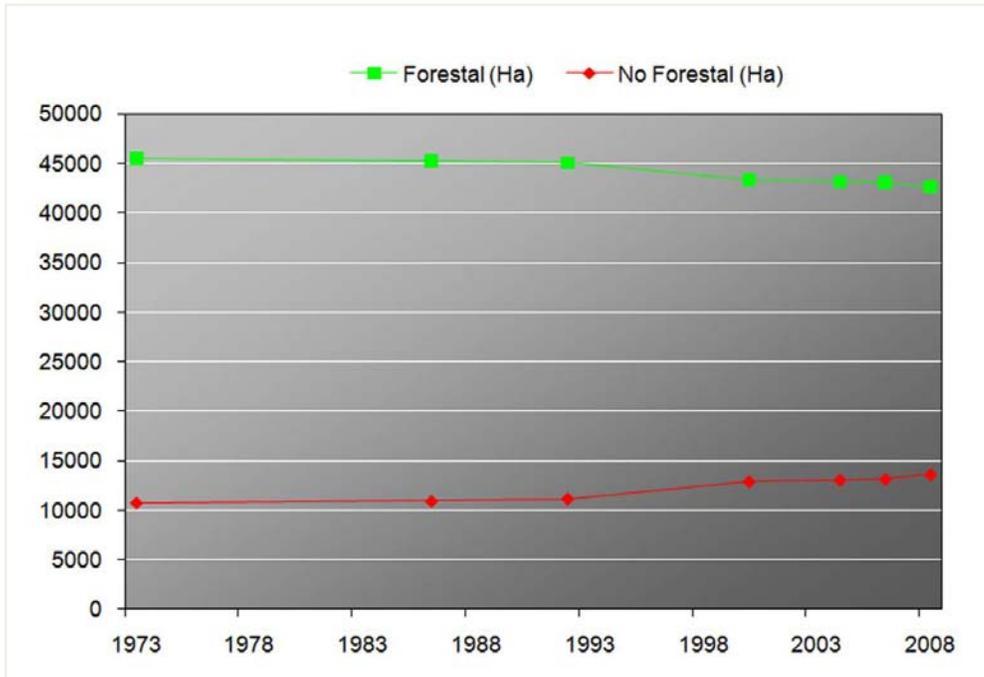
<b>Años</b>	<b>Forestal (Ha)</b>	<b>No Forestal (Ha)</b>
2000	43,320	12,933
2004	43,161	13,092
2006	43,085	13,169
2008	42,631	13,622

En la siguiente gráfica (figura 11) podemos apreciar la tendencia que se ha presentado tanto en la categoría Forestal, como en la No Forestal, durante un periodo de 35 años. Las líneas de tendencia, se mantienen constantes y con una variación relativamente baja entre el periodo 1973-1993. Para el periodo comprendido entre 1993 y el año 2000, podemos ver una fuerte disminución de los recursos forestales, motivada en su mayoría por un periodo de intensos incendios forestales.

Durante los años posteriores a este periodo de intensa presión, la tendencia en la clase forestal, aunque continua disminuyendo, se mantiene más o menos estable hasta el año 2006; comparada con el periodo antes mencionado. Entre los años 2006 y 2008 se vuelve a presentar una fuerte presión en el recurso forestal mediante la práctica de tala ilegal.

El grupo No forestal en general presentó un aumento en su superficie cubierta durante los 35 años del periodo 1973-2008. A partir del año 1993 y hasta el año 2000 ese aumento es más significativo, aunque ya para el periodo 2000-2008 su aumento no es tan evidente.

Figura 11.- Gráfica de comportamiento Forestal-No Forestal de 1973 al 2008



A continuación y como resultado de la clasificación de las imágenes Landsat y Spot, se presentan los mapas con las coberturas para los años 2000, 2004, 2006 y 2008 (Fig. 12, 13, 14 y 15).

En esta serie de mapas se puede apreciar en diversos tonos de verde, el grupo forestal, mientras que los usos de suelo y las áreas que han sido impactadas ya sea por actividades humanas ó por la presencia de incendios aparecen en colores que van de amarillo a rojo.

Las tres primeras fechas (2000, 2004 y 2006) visualmente no muestran gran variación en las clases que se establecieron, sin embargo hacia el año 2008, es evidente la presión a la que han sido sometidos los recursos forestales, ya que podemos advertir la aparición de clases forestales como Encino, Oyamel y Pino-Encino asociadas a vegetación secundaria.

Figura 12.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen Landsat ETM 2000

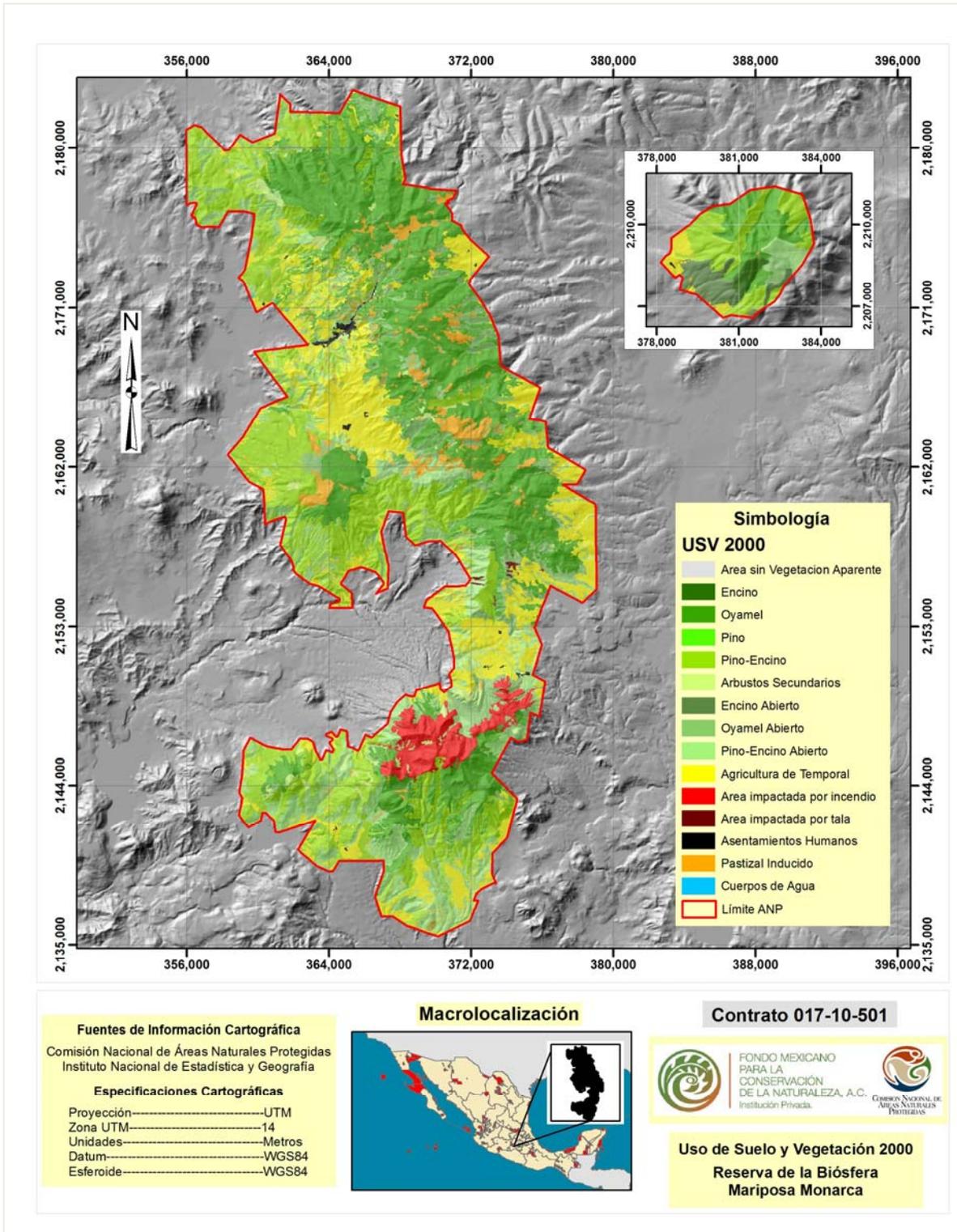


Figura 13.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2004

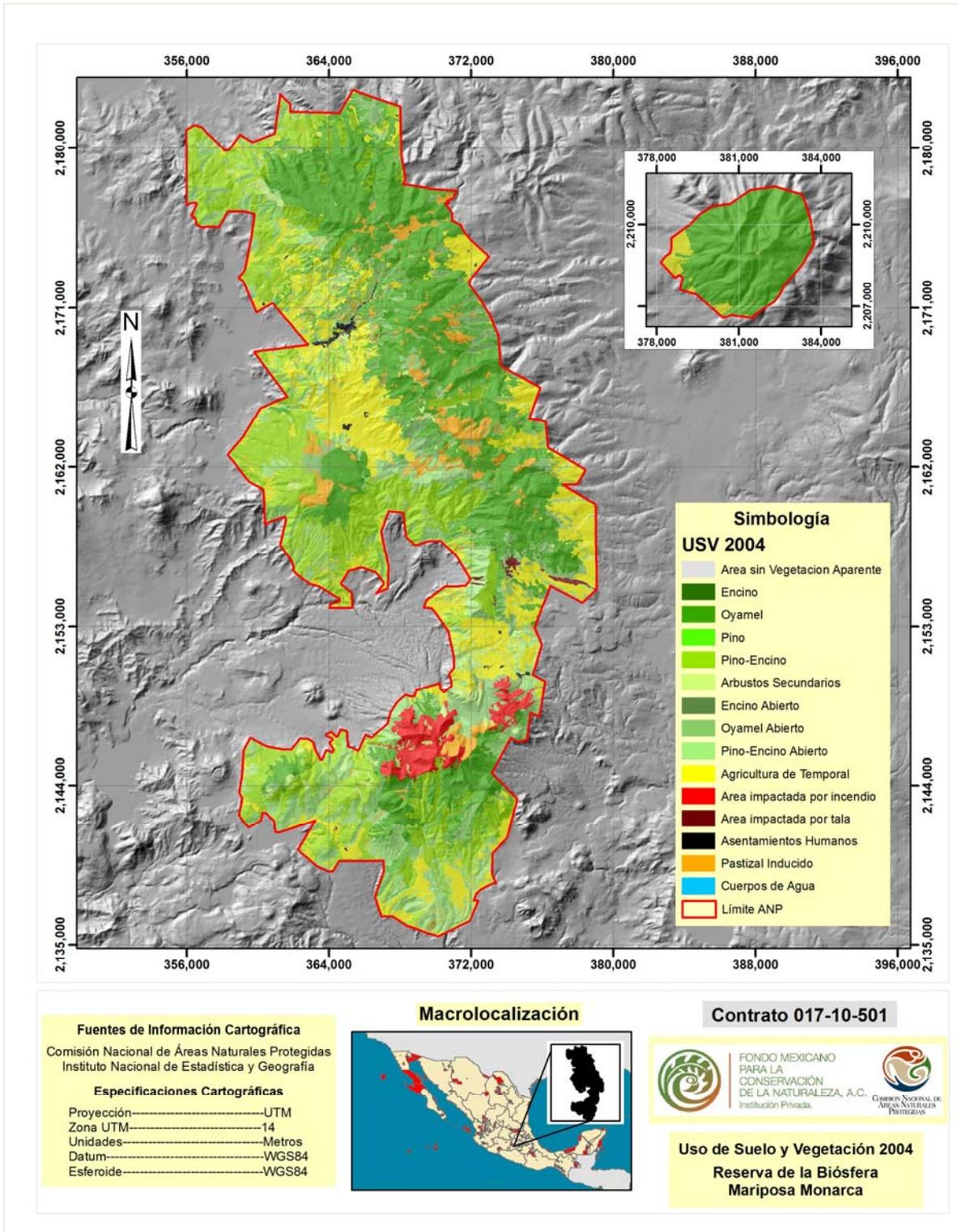


Figura 14.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2006

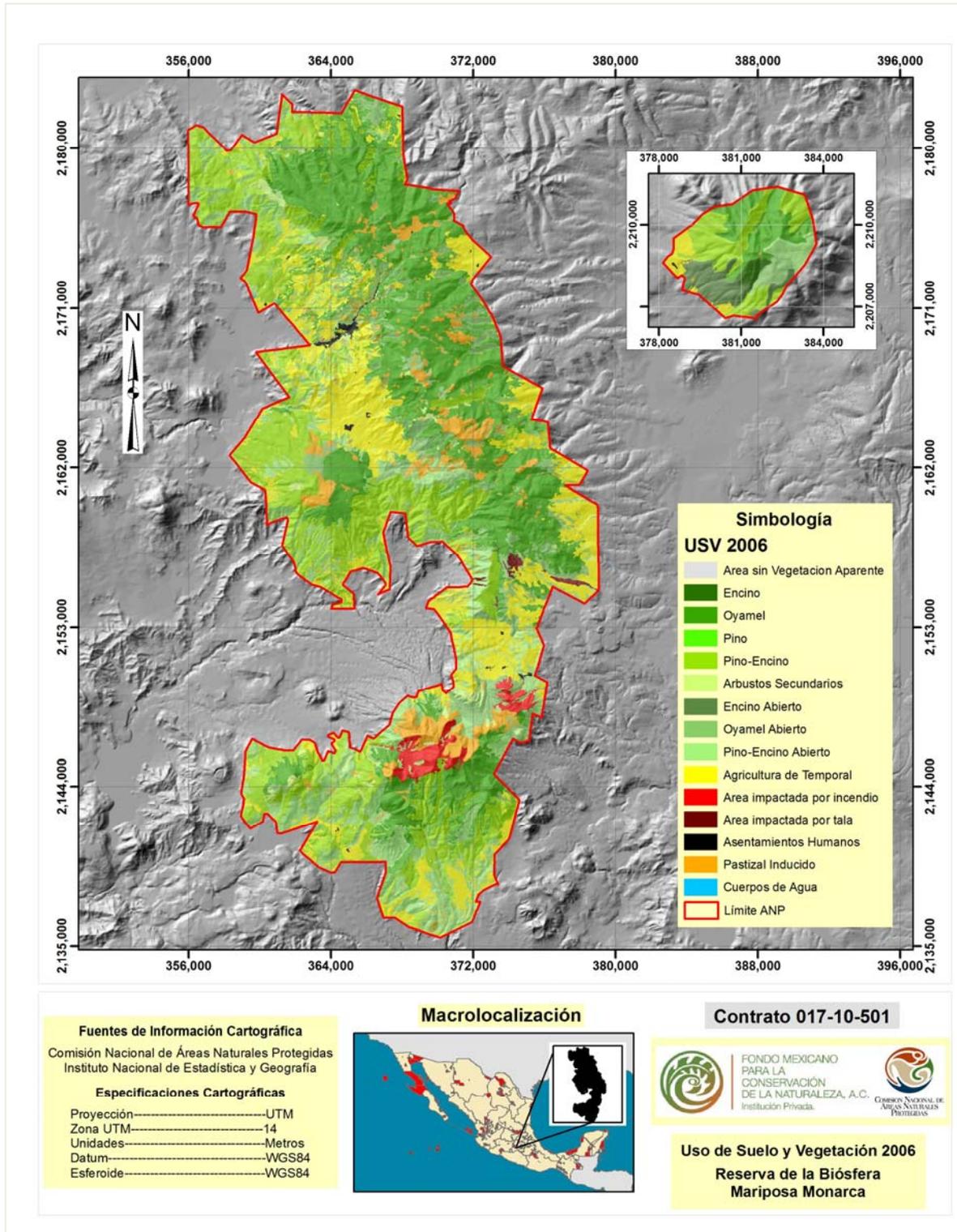
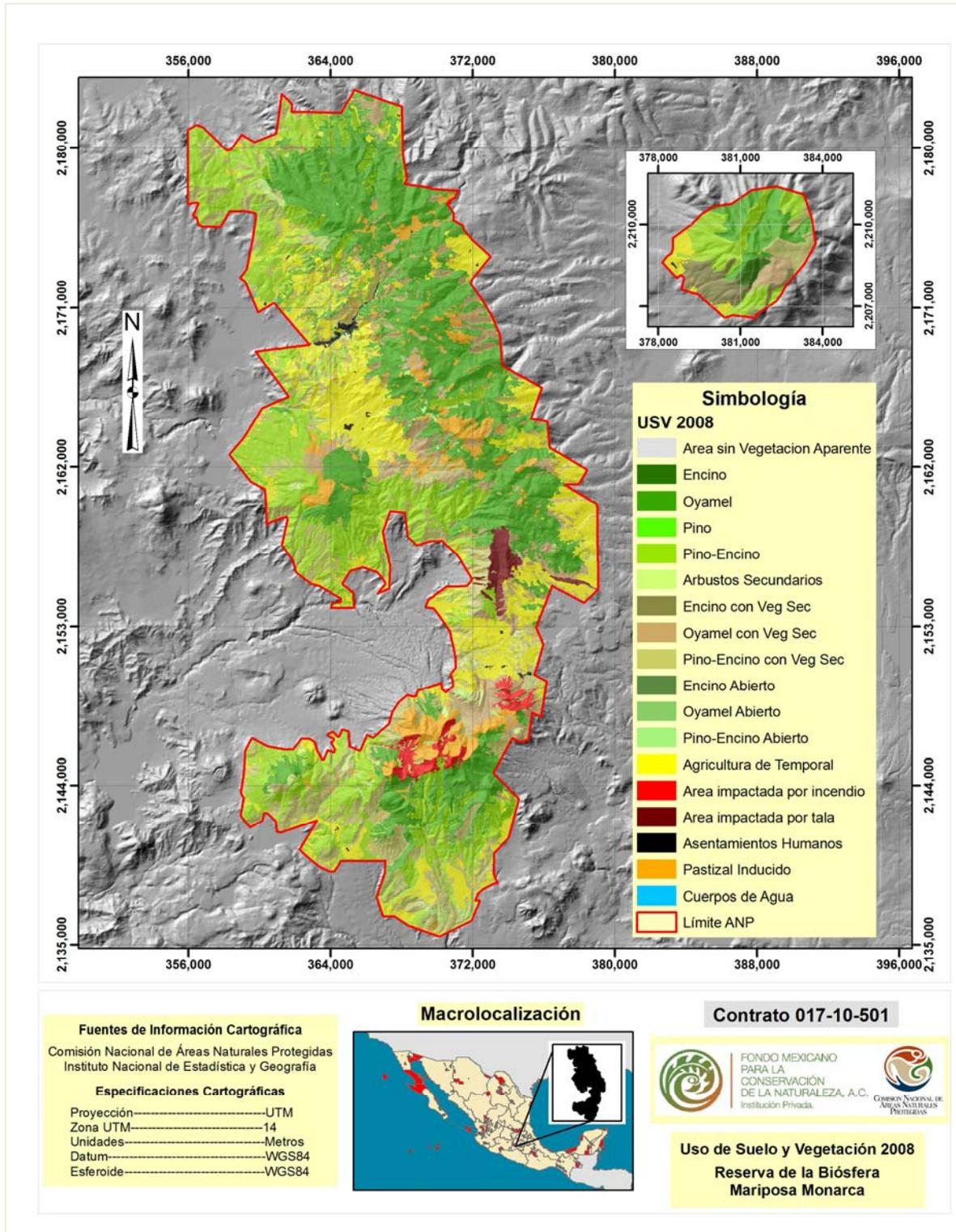


Figura 15.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2008



### **Áreas de Cambio**

Con la elaboración de matrices de cambio se obtuvo la superficie transformada de entre las distintas categorías para los periodos 2000- 2004, 2004-2006 y 2006-2008. A continuación se mencionan los tipos de transformación más representativos en cada periodo, y se muestra el mapa de cambio para el periodo completo, 2000 – 2008 (figura 16).

#### **Matriz de Cambio 2000 - 2004**

La tabla (5) muestra los cambios ocurridos entre el periodo 2000-2004, durante el cual, la mayoría de las categorías del grupo forestal presentaron sobre todo dos tipos de transformación: Perturbación y Deforestación.

La categoría *Oyamel* presenta 127.7 Ha que sufrieron aclarado del arbolado, es decir, fueron perturbadas. Asimismo se tuvo una pérdida de 53.5 Ha sobre todo por la introducción de usos de tipo agropecuario y en menor medida a una actividad de tala; actividades que se consideran como deforestación. Por su parte la categoría *Pino-Encino* dentro del proceso de perturbación tuvo una pérdida de superficie de 162.6 Ha, mientras que la superficie deforestada para esta categoría fue de 33.5 Ha que fueron utilizadas para actividades de agricultura de temporal y la introducción de pastizales. La categoría *Oyamel abierto*, presento una superficie talada de 75.2 Ha durante este periodo.

En cuanto al grupo denominado No forestal, se presentó un tipo de transformación denominado Rotación. Son dos categorías las que vieron modificada su superficie, siendo la más representativa de este periodo la categoría *Área impactada por incendios*, de la cual un total de 265.2 Ha pasaron a la categoría *Pastizal inducido*.

#### **Matriz de Cambio 2004 - 2006**

La tabla (6) correspondiente a la matriz de cambio de este periodo muestra para el grupo de categorías forestales una transformación similar al periodo anterior pero con la característica que la superficie de cambio es menor. Las

categorías que presentan superficie de cambio mayor, al igual que el caso anterior, son *Oyamel*, y *Pino-Encino*.

De estas categorías, *Oyamel* tuvo una superficie perturbada de 50.5 Ha, mientras que la superficie que presentó deforestación fue de 4.8 Ha. Por su parte la categoría *Pino-Encino*, presenta una superficie perturbada de alrededor de 7 Ha., y de 2.14 Ha que fueron deforestadas. Además de estas categorías, los *Arbustos secundarios* sufrieron la pérdida de 45.3 Ha que fueron destinadas a la introducción de Pastizales. Finalmente la categoría *Oyamel abierto* sufrió la tala de 18.45 Ha en este periodo.

El grupo No forestal, en su mayoría presentó una transformación de tipo Rotacional, caracterizada principalmente por una superficie de 556.26 Ha, que pasaron de la categoría *Área impactada por incendios* hacia *Pastizal inducido*. En este grupo también se presentaron áreas en donde se estableció vegetación secundaria en áreas que antes tuvieron un impacto por incendio forestal y otras, que presumiblemente sufrieron el abandono de terrenos dedicados a pastizales.

### ***Matriz de Cambio 2006 - 2008***

Para este periodo, los grupos tanto Forestal como No forestal presentan transformaciones en las mismas categorías, lo que nos indica la presión a la que se ven sometidas sobre todo por extracción de madera mediante la tala inmoderada de especies de *Oyamel*, *Pino-Encino*, *Oyamel abierto*, así como de *Arbustos secundarios*; categorías que vieron disminuida su superficie en 207, 122.6, 69.6 y 32 hectáreas respectivamente (Tabla 7).

El grupo No forestal sufrió la rotación de *Áreas impactadas por incendios* hacia *Pastizales inducidos* en una superficie de alrededor de 84.4 hectáreas.

Tabla 5.- Matriz de transición para el periodo 2000-2004

Matriz de cambio	Area sin Vegetacion Aparente	Encino	Oyamel	Pino	Pino-Encino	Arbustos Secundarios	Encino Abierto	Oyamel Abierto	Pino-Encino Abierto	Agricultura de Temporal	Area impactada por incendios	Area impactada por tala	Asentamientos Humanos	Pastizal Inducido	Cuerpo de agua	Total 2000
Area sin Vegetacion Aparente	5															5
Encino		73					15									88
Oyamel			16,634			3		125		6		1		47		16,816
Pino				6												6
Pino-Encino					13,371	6			156	6				27		13,567
Arbustos Secundarios						1,275								14		1,289
Encino Abierto							300			0						300
Oyamel Abierto						2		3,280		1		75.2				3,358
Pino-Encino Abierto						6			7,884	2			1.9			7,893
Agricultura de Temporal										9,078			2			9,080
Area impactada por incendios											1,381			265		1,669
Area impactada por tala												55				55
Asentamientos Humanos													167			167
Pastizal Inducido														1,962		1,962
Cuerpo de agua															7	7
TOTAL 2004	5	73	16,634	6	13,371	1,314	315	3,405	8,040	9,095	1,381	131	171	2,314	7	56,260

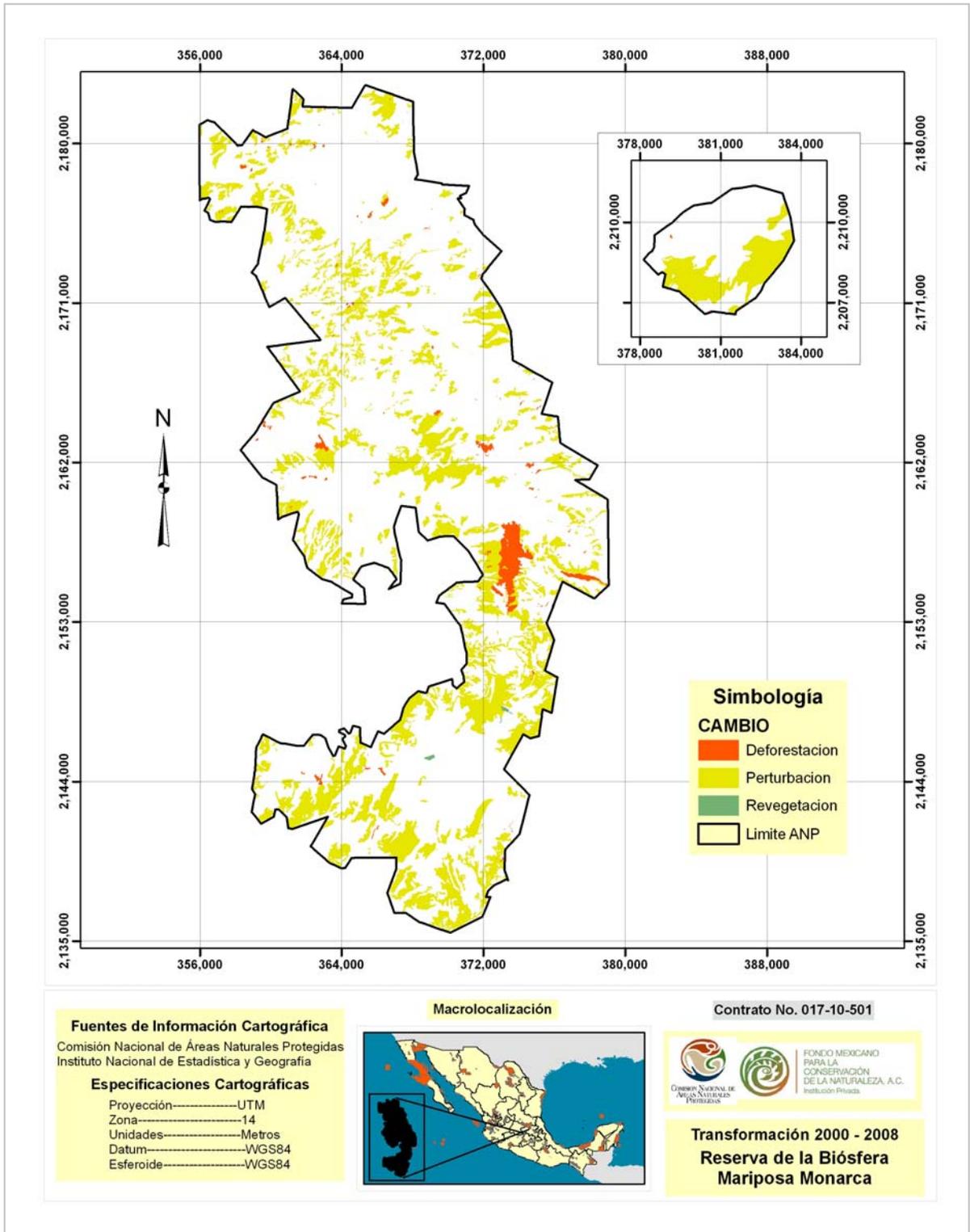
Tabla 6.- Matriz de transición para el periodo 2004-2006

Matriz de cambio	Area sin Vegetacion Aparente	Encino	Oyamel	Pino	Pino-Encino	Arbustos Secundarios	Encino Abierto	Oyamel Abierto	Pino-Encino Abierto	Agricultura de Temporal	Area impactada por incendios	Area impactada por tala	Asentamientos Humanos	Pastizal Inducido	Cuerpo de agua	Total 2004
Area sin Vegetacion Aparente	5															5
Encino		71					2									73
Oyamel			16,579				50			2		1		2		16,634
Pino				6												6
Pino-Encino					13,361				7		1			1		13,371
Arbustos Secundarios						1,255			8		6			45		1,314
Encino Abierto							315									315
Oyamel Abierto								3,380		2		18		4		3,405
Pino-Encino Abierto									8,034	1	1			4		8,040
Agricultura de Temporal										9,093	0		1			9,095
Area impactada por incendios											814			556		1,381
Area impactada por tala												131				131
Asentamientos Humanos													171			171
Pastizal Inducido						0					0			2,314		2,314
Cuerpo de agua															7	7
TOTAL 2006	5	71	16,579	6	13,361	1,267	316	3,431	8,049	9,105	816	150	172	2,926	7	56,260

Tabla 7.- Matriz de transición para el periodo 2006-2008

Matriz de cambio	Area sin Vegetacion Aparente	Encino	Oyamel	Pino	Pino-Encino	Arbustos Secundarios	Encino Abierto	Oyamel Abierto	Pino-Encino Abierto	Agricultura de Temporal	Area impactada por incendios	Area impactada por tala	Asentamientos Humanos	Pastizal Inducido	Cuerpo de agua	Total 2006
Area sin Vegetacion Aparente	5															5
Encino		71					1									71
Oyamel			16,362					5				207		3		16,579
Pino				6												6
Pino-Encino					13,169				59		1	123		10		13,361
Arbustos Secundarios						1,234						1		32		1,267
Encino Abierto							316									316
Oyamel Abierto								3,358		3		70		1		3,431
Pino-Encino Abierto									8,038	1		7		3		8,049
Agricultura de Temporal										9,104			1			9,105
Area impactada por incendios											731			84		816
Area impactada por tala												150				150
Asentamientos Humanos													172			172
Pastizal Inducido						10						1	0	2,915		2,926
Cuerpo de agua															7	7
TOTAL 2008	5	71	16,362	6	13,169	1,243	317	3,363	8,097	9,112	731	559	173	3,047	7	56,260

Figura 16.- Áreas de Cambio en el periodo 2000-2008



Durante el periodo 2000-2004, las categorías *Área impactada por tala* y *Pastizal inducido*, son las que más cambios generaron, afectando principalmente al *Bosque de oyamel abierto* y *Oyamel* (tabla 8).

Tabla 8. Superficie Forestal afectada por No forestal en el periodo 2000-2004

Transformación en el periodo 2000 - 2004	Agricultura de Temporal	Area impactada por incendios	Area impactada por tala	Asentamientos Humanos	Pastizal Inducido
Oyamel	-6		-1		-47
Pino-Encino	-6				-27
Arbustos Secundarios		23			-14
Encino Abierto	0				
Oyamel Abierto	-1		-75		
Pino-Encino Abierto	-2			-2	
<b>Subtotal</b>	-16	23	-76	-2	-87
<b>Total</b>	<b>-159</b>		Ha en 4 años		
<b>Total</b>	<b>-40</b>		Ha por año		

En el periodo 2004-2006, justo como se indico en el apartado correspondiente a la matriz de cambio, aunque hubo áreas que sufrieron algún tipo de transformación, ésta fue menor; respecto al periodo anterior. De esta forma, este periodo muestra sobre todo un avance de los *Pastizales inducidos* sobre la categoría *Arbustos secundarios* (tabla 9).

Tabla 9.- Superficie Forestal afectada por No forestal en el periodo 2004-2006

Transformación en el periodo 2004 - 2006	Agricultura de Temporal	Area impactada por incendios	Area impactada por tala	Pastizal Inducido
Oyamel	-2.09		-0.55	-2.23
Pino-Encino	-1.45			-0.69
Arbustos Secundarios	-5.57	11.00	0.00	-44.87
Encino Abierto				
Oyamel Abierto	-2.12		-18.45	-3.96
Pino-Encino Abierto	-0.62	-1.13		-3.95
<b>Subtotal</b>	-11.86	9.87	-19.00	-55.69
<b>Total</b>	<b>-77</b>		Ha en 4 años	
<b>Total</b>	<b>-19</b>		Ha por año	

En el periodo 2006-2008, los bosques de Oyamel, *Pino-Encino* y *Oyamel abierto*; fueron las que perdieron superficie principalmente por la tala de árboles de estas especies (tabla 10).

Tabla 10.- Superficie Forestal afectada por No forestal en el periodo 2006-2008

Transformación en el periodo 2006 - 2008	Agricultura de Temporal	Area impactada por incendios	Area impactada por tala	Pastizal Inducido
Oyamel	-2.10		-207.09	-2.82
Pino-Encino	-1.41		-122.60	-9.50
Arbustos Secundarios			-0.68	-22.70
Encino Abierto				
Oyamel Abierto	-2.92		-69.64	-0.51
Pino-Encino Abierto	-1.25		-7.37	-2.80
Subtotal	-7.68		-407.38	-38.34
<b>Total</b>	<b>-453</b>		Ha en 4 años	
<b>Total</b>	<b>-113</b>		Ha por año	

**Tasa de Transformación del Hábitat.**

La siguiente tabla (11) nos muestra cual es la tasa de transformación que se presentó en los tres periodos que han sido mencionados con anterioridad. El periodo 2006-2008 es el que tuvo la tasa de cambio mayor, respecto de los dos periodos restantes. De esta forma tenemos una tasa del .53%.

Tabla 11.- Tasa de transformación del hábitat

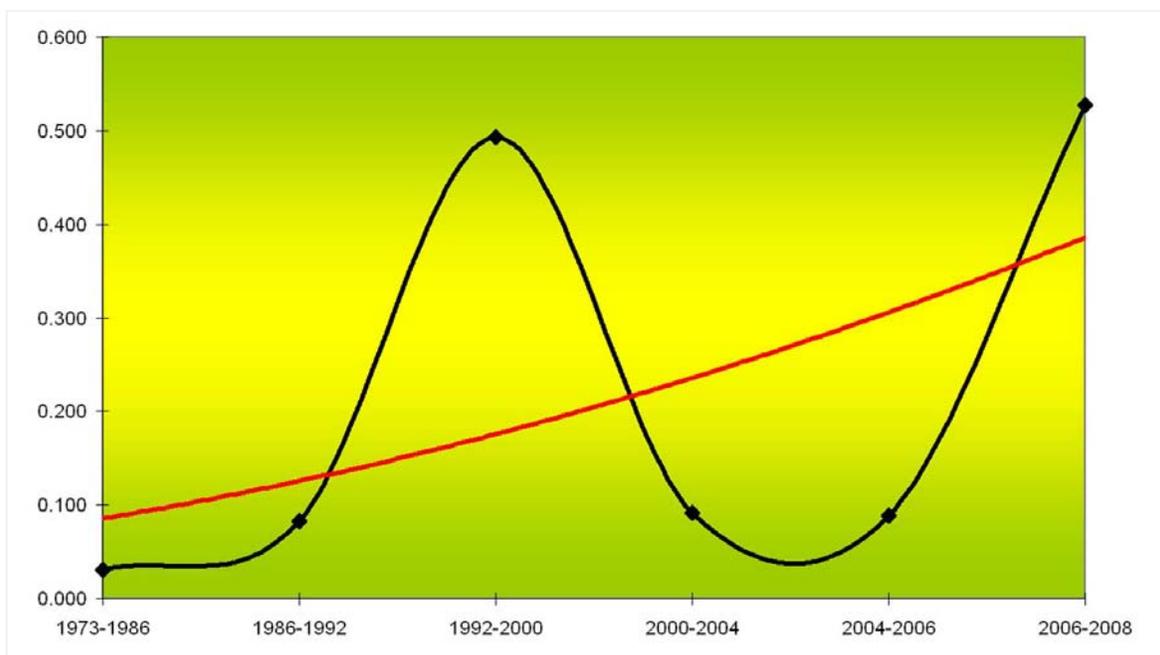
Periodo	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual
2000-2004	43,320	43,161	159	4	0.0009	0.09
2004-2006	43,161	43,085	77	2	0.0009	0.09
2006-2008	43,085	42,631	453	2	0.0053	0.53
<b>2000-2008</b>	<b>43,320</b>	<b>42,631</b>	<b>689</b>	<b>8</b>	<b>0.0080</b>	<b>0.80</b>

En la siguiente tabla (12) se puede apreciar que la tendencia de la tasa presenta un aumento en los 3 primeros periodos, llegando a su máximo en el periodo 1992-2000 en donde tuvo una tasa de 0.49; para posteriormente disminuir a 0.09 en el siguiente periodo (2000-2004), mantenerse y volver a presentar un máximo en el periodo 2006-2008. Los dos máximos que se observan tanto en la tabla como en la gráfica de la figura 17, tienen su explicación en dos eventos principales, el primero se refiere al aumento en el desarrollo de incendios forestales, sobre todo a finales de los años 90's, y el segundo, se refiere a un aumento de la tala de bosques durante el periodo 2006-2008.

Tabla 12.- Tasa de transformación del hábitat histórica

Periodo	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual
1973-1986	45,469.76	45,290.51	179	13	0.0003	0.03
1986-1992	45,290.51	45,066.19	224	6	0.0008	0.08
1992-2000	45,066.19	43,320.26	1,746	8	0.0049	0.49
2000-2004	43,320.26	43,161.40	159	4	0.0009	0.09
2004-2006	43,161.40	43,084.74	77	2	0.0009	0.09
2006-2008	43,084.74	42,631.34	453	2	0.0053	0.53

Figura 17.- Tendencia de la tasa de transformación histórica



## Conclusiones

El presente trabajo involucró el empleo conjunto de sistemas de información geográfica y técnicas de percepción remota, las cuales permitieron las cuales permitieron obtener buenos resultados en la confección de los mapas de la cubierta y uso del suelo para los años 2000, 2004, 2006 y 2008, y después determinar la tasa de transformación para distintos periodos.

Los datos de superficie obtenidos exponen una pérdida forestal que manifiesta en la categoría Oyamel Abierto, la cual, muestra en el periodo 2000–2004 una pérdida de 75.20 ha, mientras que en el periodo 2006–2008 perdió 69.64 ha. Por otra parte, la categoría Oyamel sufrió la pérdida más representativa de su masa forestal durante el periodo 2006–2008 con 207.09 ha, al igual que esta categoría, el Pino-Encino también sufrió una pérdida en su cobertura de 122.60 ha.

Los resultados muestran una pérdida constante de la masa forestal dentro del área de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca. Estos datos al ser complementados y graficados con datos de los años 1973 al 1998; presentan dos picos máximos, los cuales corresponden a eventos como incendios forestales sobre todo a finales de los 90's, y principios del año 2000; así como a la tala ilegal que se ha intensificado durante el periodo 2006-2008.

Lo anterior muestra que las actividades ilegales como la tala ha impactado no solamente categorías cuya característica es el espaciamiento entre los individuos, como la categoría Oyamel Abierto, sino también sobre bosques densos de Oyamel. La tendencia general indica una pérdida constante, que podría continuar restando superficie a los bosques de Oyamel que son utilizados de forma natural por las colonias de la Mariposa Monarca, lo cual resalta la importancia y necesidad de continuar estimando la tasa de transformación del área de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca.

## **Bibliografía**

Bartolucci, L.A. 1979. Procesamiento Digital de Datos Multiespectrales. Percepción Remota. Presentado en la semana de Intercambio Tecnológico. 14-19 mayo 1979. Panamá. Bocco, G.; López, G; Mendoza, C. 2001. Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo. El caso de la ciudad de Morelia. Instituto de Geografía, Boletín No. 45. UNAM. 56-77pp.

CONANP, 2001. Programa de Manejo de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca. México. 139pp.

Chuvienco, E. 2000. Fundamentos de Teledetección Espacial. 3 edición. Rialp, S.A. Madrid España. 568pp.

D.O.F., 2000. Diario Oficial de la Federación. Secretaria Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 29pp.

Eastman, J.R. 1999. User's Guide. IDRISI for windows versión 32.0. Clark University. Marzo. 3-150pp

FAO. 1996. Introduction to Remote Sensing, 2ª ed., Nueva York, The Guilford Press.

FAO. 2001. FAO, The Strategic Framework for FAO 2000-2015. Roma 1999. (puede consultarse en: <http://www.fao.org/docrep/X3550E/x3550e00.htm>).

Fleiss, J.L. , Cohen, J. & Everitt, B.S. (1969). Large sample satandard errors of kappa and wighted kappa. Psychologycal Bulletin, 72, 323-327.

Groombridge, B. y Jenkins, M. D., 2000, Global biodiversity. Earth's living resources in the 21st century. United Nations Environment Programme (Editor), 246 p.

Hutchinson, C.F. 1982. Tecniques for combining landsat and ancillary data for digital classification improement. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Vol. 48 pp 123-130.

López García, José, 2009. Cobertura Forestal en la Zona Núcleo de la Reserva de la Mariposa Monarca: Línea Base 2009. Reporte técnico para la World Wildlife Fund-México (WWF) Informe para el Fondo Monarca. WWF-FMCN, México D. F.

Máster Internacional a distancia en Sistemas de Información Geográfica UNGÍS. 2002. Modulo Opcional SIG y teledetección. 3era edición. Material de curso. Universidad de Girona, España. Pp 78.

Miranda, F. y E. Hernández X., 1963, Los tipos de vegetación de México y su clasificación, Boletín de la Sociedad Botánica de México, 28:29-57

Ramírez, M.I. y R. Zubieta. 2005. Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Reporte Técnico preparado para el Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca. México D.F. Septiembre 2005.

Rzedowski, J. 1983. Vegetación de México. Ed. Limusa. México. D.F.

SEMARNAP, 1997. Ley Forestal. México. 51 p.

SEMARNAT-CONANP. 2007 Protocolo para la Evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México (En Revisión)-México, D.F. julio 2007-53 pág

Travaglia, C. 1990. "Principle of satellite Imagery Interpretation". En: Food of Agriculture Organization of the Unite remote Sensing Applications to land Resorce. Italy, Rome. Pp 41-97.

UNAM, Instituto de Geografía, 2000. Informe del Inventario Forestal Nacional 2000-2001, México, 266 p.

WWF-Programa México, 2004. La Tala Ilegal y su Impacto en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca. Informe Programa Mariposa Monarca. Informe Interno, mayo. World Wildlife Fund-México.

#### Referencias Web

<http://www.conanp.gob.mx/sig/informacion/info.htm>

<http://mapserver.inegi.gob.mx/DescargaMDEWeb>