



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”***

## ***Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen***



**Nombre del Consultor:**

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

**Periodo del Reporte:**

*01 al 30 de Abril de 2010*

Morelia, Michoacán  
22 de Abril 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

Cesar Moreno García  
Técnico del SIG  
CONANP-SEMARNAT



“© CNES .2005-2009, producida por ASERCA-CONANP bajo licencia de Spot Image, S. A.”

“SEMAR-SAGARPA-ASERCA-CONANP 2010.

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>	17
Polígono oficial	17
Imágenes de satélite	17
Modelo Digital de Elevación (MDE)	18
<i>Metodología</i>	20
Rectificación de imágenes de satélite	20
Clasificación de imágenes de satélite	21
Áreas de cambio	23
Tasa de Transformación	25
<i>Resultados</i>	26
Imágenes de satélite	26
Uso del Suelo y Vegetación	30
Áreas de Cambio	39
Matriz de Cambio 2000 - 2005	39
Matriz de Cambio 2005 - 2009	39
Tasa de Transformación del Hábitat.	44
<i>Conclusiones</i>	45
<i>Bibliografía</i>	46

## 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 173 áreas naturales de carácter federal que cubren una superficie de 25, 376 599 Ha (12.91% 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 (Cañón de Santa Elena, 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 el Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen, Coahuila. Esta región ha sido muy estudiada, presenta una enorme riqueza y diversidad de especies y ecosistemas, característicos del Desierto Chihuahuense y de la propia Sierra Madre Oriental, especialmente comunidades propias de bosques mesófilos, únicas en la región, sobrevivientes de las épocas geológicas en las cuales esta parte del país era más fresca y húmeda.

En el año 1994 fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el decreto mediante el cual se establece esta área de protección, como estrategia para conservar los valores naturales de un sitio en el que actualmente existen organismos de gran importancia biológica, además que el paisaje montañoso que forma parte de corredor natural a través del cual se desplazan numerosas especies de animales y se dispersan diversas especies de plantas.

El APFFyF Maderas del Carmen es un importante corredor biológico entre el sur de los Estados Unidos y el noreste de México, que utilizan en sus desplazamientos migratorios algunas aves, como las rapaces y las neotropicales, o insectos como las mariposas monarcas, que entran a México provenientes de

Texas, por el Cañón de Boquillas, y siguiendo las faldas de la sierra por el poniente continúan su ruta hasta Múzquiz. Asimismo dentro de ésta, se da la dispersión de los osos negros de Maderas hacia Chisos, en el Parque Nacional Big Bend.

Por otra parte, las bajadas y llanuras constituyeron corredores o puentes que comunicaron a las especies del Desierto Chihuahuense con las del Desierto Tamaulipense, dando lugar a interesantes fenómenos de migración e hibridación entre las especies de las dos subprovincias. El río Bravo, que limita al noroeste al Área de Protección, constituye por sí mismo un importante corredor para otro gran número de especies, algunas de afinidad francamente neotropical, como el tlacuache (*Didelphis marsupialis*).

## Objetivo

- ◆ Determinar la tasa de transformación del hábitat en el Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen para el periodo 2000 a 2009.

## Área de Estudio

El Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen, se encuentra localizada en el extremo noroeste del estado de Coahuila (en la frontera con el estado de Texas, en los Estados Unidos de América), muy próxima al límite con el estado de Chihuahua. La parte norte y noroeste del área está limitada por el río Bravo, donde colinda con el Parque Nacional Big Bend; al oeste y al sur por la carretera Melchor Múzquiz-Boquillas del Carmen y al este por el camino de terracería El Melón-La Linda. Tiene una superficie total de 208,381 ha.

Políticamente forma parte de los municipios de Ocampo, Acuña y Múzquiz. Geográficamente se encuentra ubicada entre las coordenadas 29° 22.45' y 28° 42.21' de latitud norte; 102° 56.23' y 102° 21.08' de longitud oeste. Cuenta con un

rango de altitudes que van desde los 500 m, a la orilla del río Bravo, hasta los 2720 m, en los picos más altos (Figura 1).

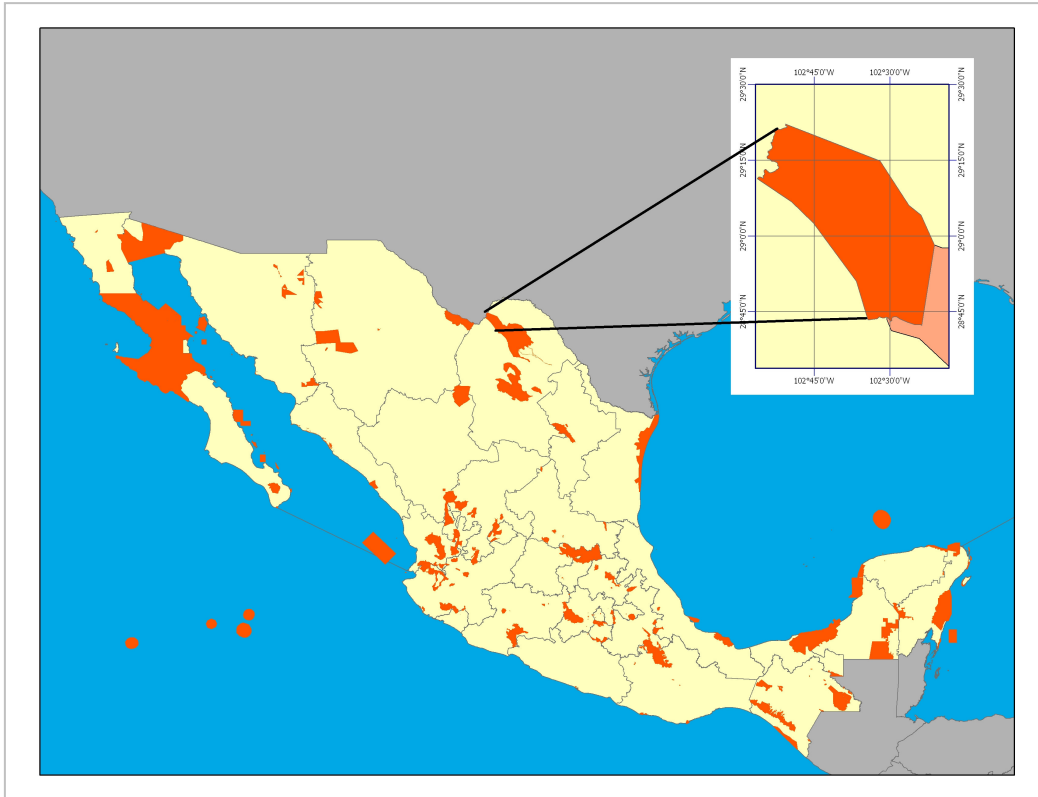


Figura 1. Localización del Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen

El área de protección se encuentra ubicada dentro de la Provincia de la Sierra Madre Oriental y forma parte de la subprovincia de las Sierras y Llanuras Coahuilenses. Esta subprovincia abarca desde el río Bravo, entre la ciudad de Ojinaga en Chihuahua, y Ciudad Acuña en Coahuila, y se extiende hacia el sureste hasta llegar a la ciudad de Monclova también en Coahuila. En ella se encuentran sierras compuestas de calizas, plegadas y orientadas de noroeste a sureste, en su mayoría escarpadas y más bien pequeñas. Sus ejes estructurales están bien definidos y se presentan anticlinales alargados con presencia de erosión.

La mayoría de las sierras se elevan a altitudes entre 1000 y 2000m; sólo la sierra El Carmen tiene cumbres superiores a 2000 m. El norte de la subprovincia muestra una serie de fallas normales, orientadas en conformidad con las estructuras (NNW-SSE). Hay cierto número de afloramientos de rocas ígneas en las proximidades del río Bravo y en la sierra El Carmen. Entre estas sierras se extienden amplias bajadas, lomeríos y llanuras de materiales aluviales (SPP, 1983).

De acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1978), para el área protegida se consideran básicamente tres tipos climáticos, los cuales están determinados de acuerdo a un gradiente altitudinal; contemplando desde las partes más bajas de las sierras, donde predominan amplios llanos desérticos, hasta las partes más altas con una marcada topografía accidentada y mesetas intermitentes ocupadas por bosques. De esta manera tenemos:

1) Tipo muy seco, subtipo muy seco semicálido con escasas lluvias todo el año. Este comprende las áreas más bajas y tendidas de las sierras, en terrenos generalmente más bajos a los 1000 m, Las temperaturas se caracterizan por tener una fuerte variación de hasta 14°C entre las registradas en los meses más cálidos y el mes más frío; siendo sus temperaturas medias de 20° a 22°C, Las escasas precipitaciones pluviales que se promedian anualmente son de 100 a 200 mm para las partes más bajas.

2) Tipo seco, subtipo seco semicálido se localiza en las partes de las bajadas de las sierras, entre altitudes de 1000 a mayores de 1400 m, la temperatura media anual es del orden de 18° a 20°C para el subtipo semicálido. La precipitación promedio se encuentra dividida entre 300 a 400 mm para las porciones de pie de monte al oeste de la sierra El Carmen y de 400 a 500 mm para las localizadas al este de la misma.

3) Tipo semi-seco, subtipo semi-seco templado, este clima influye en las partes altas de laderas y cumbres de las sierras; a veces como transición hacia



climas templados más húmedos, pero en general como los climas de sierras menos secos, los cuales se localizan a altitudes mayores a los 2000 m. Las temperaturas medias registradas para éstos van desde los 12° a los 16 °C; la precipitación media anual es de 500 a 600 mm.

Por su parte los suelos que se han desarrollado y se encuentran presentes responden a la interacción entre el clima y la geología de la zona. De esta forma en las partes altas de las sierras, las cuales componen el Área de Protección, dominan los litosoles de color pardo y textura media, asociados a otros suelos más profundos y oscuros que sobreyacen a materiales calcáreos, llamados rendzinas. También se encuentran litosoles asociados a regosoles calcáricos, los cuales son suelos claros de textura media, limitados por un estrato rocoso. Aunque en menor proporción, se encuentran además los xerosoles cálcicos y castañozems.

Para las sierras complejas con lomeríos, los cuales abarcan las porciones de bajadas y pie de monte, se presentan principalmente xerosoles háplicos y cálcicos de color pardo claro, textura media y generalmente profundos; planosoles mólicos, y feozems háplicos, suelos oscuros de textura media limitados por una fase lítica. Sin embargo, también se encuentran los regosoles calcáricos asociados con regosoles eútricos, suelos con un horizonte A ócrico superficial de textura media, generalmente asociados con litosoles de textura media (con fase lítica), xerosoles háplicos y castañozems, en menor proporción.

Por último, en los valles que limitan a estas zonas de piedemonte con los planos o llanos desérticos, se presentan xerosoles háplicos y cálcicos, asociados con regosoles calcáricos, los cuales con frecuencia presentan una capa de grava en la superficie; también se presentan los castañozems cálcicos, rendzinas, vertisoles crómicos y litosoles (SPP, 1983).

De acuerdo con Villarreal y Valdés (1992), quienes realizaron una revisión de la vegetación del estado, los tipos de vegetación que se presentan en el Área de Protección y su zona de influencia son los siguientes:

## Matorral desértico chihuahuense

1. Matorral micrófilo. Las llanuras y bolsones del sur, oeste y norte de Coahuila, están caracterizadas por muchas variantes de un mismo tipo de vegetación de atribuciones estrictamente desérticas. La especie más característica es la gobernadora (*Larrea tridentata*), y la estructura y composición de los diferentes tipos, puede ser considerada desde el punto de vista de las especies asociadas con gobernadora o que la reemplazan ocasionalmente. Las especies más comúnmente asociadas con gobernadora son *Flourensia cernua*, *Acacia vernicosa*, *Fouquieria splendens*, *Prosopis velutina*, entre otras. El hábitat típico donde se desarrolla esta fase está compuesto por llanuras, bajadas o abanicos aluviales con pendiente ligera.

2. Matorral rosetófilo. Dentro del matorral desértico, una vegetación característica, especialmente importante en esta región, lo constituye el llamado matorral rosetófilo, constituido principalmente por plantas suculentas. Los lomeríos pedregosos del norte de Coahuila presentan una flora particularmente rica en este tipo de plantas, incluyendo *Euphorbia antisiphilitica*, *Jatropha dioica*, *Agave lechuguilla*, *Hechtia* sp, *Opuntia* spp y varios tipos de chinocactus, *Echinocereus*, *Mamillaria*, entre otras.

3. Matorrales halófilo y gypsófilo. Donde el suelo es un poco más profundo y el drenaje es apropiado, la vegetación se caracteriza por la abundancia de *Flourensia*, la cual puede sustituir a *Larrea*, además de *Prosopis* sp, *Koeberlinia* sp, *Condalia spathulata* y *Parthenium*.

## Matorral submontano

Este tipo de vegetación se presenta en la base de las sierras que limitan al este con el matorral tamaulipeco, es una zona no muy bien definida, con grandes arbustos y árboles pequeños que se presentan en la topografía irregular de la región y bordeando pequeños lomeríos. Este matorral se caracteriza por una

mayor densidad de arbustos espinosos y especies arbóreas conforme aumenta la altitud, algunas de las especies más características son: *Quercus fusiformis*, *Q. invaginata*, *Q. sinuata*, *Q. mohriana*, *Diospyros texana*, *Bumelia lanuginosa*, *Sophora secundiflora*, *Bauhinia lunaroides*, *Rhus virens*, *Vauquelinia corymbosa* y *Leucaena glauca*.

### Zacatal

El verdadero zacatal climático no es extenso en Coahuila, la proporción en cobertura del área de zacatal nunca se desarrolla más allá de la transición entre el matorral desértico y el matorral submontano; debido a que el zacatal requiere de áreas planas con suelos relativamente profundos, sólo puede ser visto en bajadas con pendientes ligeras o en mesetas de mediana elevación. Tales situaciones se presentan solamente en el noroeste de Coahuila, dentro de las sierras Las Cruces y El Carmen. El zacatal verdadero está ampliamente dominado por *Bouteloua gracilis*, *B. curtispindula*, *Botriochloa saccharoides*, *Lycurus phleoides*, *Stipa eminens*, *Aristida divaricata*, *Buchloe dactyloides* y *Muhlenbergia monticola*. Estas especies se encuentran comúnmente asociadas a las familias Compositae, Asclepiadaceae y Scrophulariaceae. Y en las prominencias rocosas de dicha área se pueden ver junto con *Quercus*, *Juniperus*, *Dasyllirion*, *Nolina* y *Yucca*.

### Bosque de montaña

1. Bosque de Encino. Este tipo de vegetación puede substituir al zacatal o extenderse a mayores altitudes, entre el zacatal bien desarrollado y el bosque de pinos o bien, alternar entre ellos. La ladera oeste de la sierra El Carmen está dominada por diferentes especies de encinos como: *Quercus intricata*, *Q. invaginata*, *Q. pringlei*, *Q. laceyi* y *Q. hypoxantha*. A estas especies están comúnmente asociadas: *Garrya ovata*, *Rhus virens*, *Cercocarpus mojadensis*, *Microrhamnus ericoides*, *Berberis trifoliolata*, entre otras. Este tipo de vegetación está relacionado con el matorral submontano que se presenta más al oeste, en condiciones pobres y con mayor influencia desértica, en Sierra Mojada y Sierra Almagre, en la línea divisoria entre Chihuahua y Coahuila.

2. Bosque de Pino. Este tipo de vegetación se desarrolla por encima del matorral submontano, en la pendiente este de la sierra El Carmen. Y se ajusta a su equivalente “encinal” y a la zona de pino-encino-junípero del suroeste de Estados Unidos. La principal característica de este tipo de vegetación son bosquetes abiertos de árboles bajos con copas redondeadas, ramas nudosas y troncos menores a 30 cm de diámetro; generalmente asociados a densos pastizales amacollados y una o más especies de agaves. El estrato arbóreo está dominado usualmente por encinos, aunque los pinos piñoneros y los juníperos pueden ser muy abundantes. Las principales especies arbóreas de este tipo de vegetación son: *Quercus gravesii*, *Q. hypoleucoides*, *Q. laceyi*, *Q. arizonica*, *Q. sinuata*, *Q. mohriana*, *Juniperus flaccida*, *J. pachyphloea*, *Pinus cembroides*, entre otras.

3. Bosque de oyamel. Este tipo de vegetación se presenta por encima del bosque de montaña y el matorral submontano, a mayores altitudes, en macizos montañosos mayores. Dominan *Pinus arizonica* y sus especies asociadas, espacios cerrados, troncos altos y rectos, dosel cerrado y un pobre desarrollo de arbustos y zacates, excepto en los claros. En los rodales, donde se desarrolla mejor este tipo de bosque, tales como las partes altas de la sierra El Carmen, se contemplan las siguientes especies: *Pinus arizonica*, *Pseudotsuga taxifolia*, *Cupressus arizonica*, entre otras. Los principales arbustos son: *Lonicera pilosa*, *Ceanothus coeruleus*, *Stypa tenuissima*, *Piptochaetium fumbriatum*. Aunque en general en las sierras de Coahuila no se presenta una vegetación subalpina propiamente dicha, sí se observan algunos elementos propios de este tipo de vegetación como *Abies coahuilensis* y *Pinus ayacahuite*, en forma de manchones en las partes más altas de algunas sierras, como en el caso de la sierra de Maderas del Carmen.

## Material

### *Polígono oficial*

El polígono se obtuvo de la base cartográfica de la cobertura de Áreas Naturales Protegidas Federales de México, 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 contaba con imágenes de satélite Landsat ETM del año 2000 para el área de estudio (Tabla 1).

Tabla 1.- Imágenes Landsat ETM para el Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen

Satélite	Path	Row	Fecha	Resolución (metros)	Número de bandas
ETM	30	40	28-nov-00	30	6
				15	1

Se tomó como base el polígono del ANP Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen, para conocer cuantas imágenes de satélite SPOT serían 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 7 imágenes fueron solicitadas y utilizadas para el cubrimiento completo del área de estudio (Tabla 2).

Tabla 2.- Imágenes de satélite SPOT para el Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen

Sensor	K	J	Fecha	Resolución espacial (metros)	Número de bandas	Tipo	Nivel de Procesamiento
SPOT	575	291	06-abr-05	10	4	<b>Multiespectral</b>	<b>1A</b>
				2.5	1	<b>Pancromática</b>	<b>1A</b>
SPOT	575	292	06-abr-05	10	4	<b>Multiespectral</b>	<b>1A</b>
				2.5	1	<b>Pancromática</b>	<b>1A</b>
SPOT	576	291	06-abr-05	10	4	<b>Multiespectral</b>	<b>1A</b>
				2.5	1	<b>Pancromática</b>	<b>1A</b>
SPOT	576	292	06-abr-05	10	4	<b>Multiespectral</b>	<b>1A</b>
				2.5	1	<b>Pancromática</b>	<b>1A</b>
SPOT	576	291	14-ene-09	10	4	<b>Multiespectral</b>	<b>1A</b>
				2.5	1	<b>Pancromática</b>	<b>1A</b>
SPOT	575	292	14-ene-09	10	4	<b>Multiespectral</b>	<b>1A</b>
				2.5	1	<b>Pancromática</b>	<b>1A</b>
SPOT	576	291	09-ene09	10	4	<b>Multiespectral</b>	<b>1A</b>
				2.5	1	<b>Pancromática</b>	<b>1A</b>

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

La figura 2 muestra el MDE para el ANP Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen.



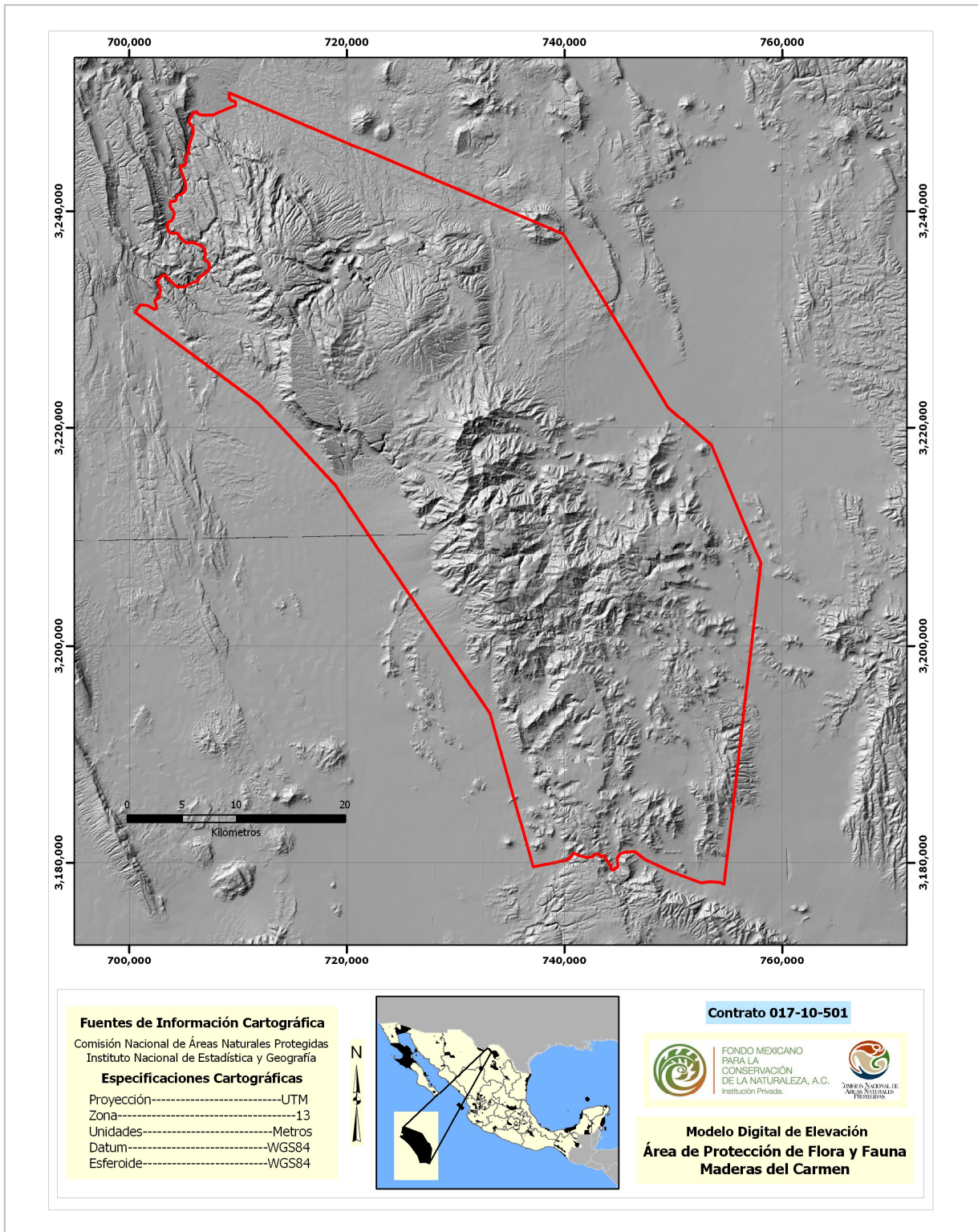


Figura 2.- Modelo Digital de Elevación INEGI, 1:50,000

## 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 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, el cual se basa en la probabilidad de que un píxel pertenezca a una clase particular, a partir de su medias y 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 georreferida, 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 cartografiada 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 que rasgos presentes en un determinado territorio se han modificado entre dos o más fechas, haciendo referencia al tipo de transformación.

La cuantificación de cambio resulta de la diferencia, mediante sobreposición cartográfica, entre los mapas de cobertura de una fecha base y una fecha a comparar, de ello resulta una matriz de transición, con un valor de cada clase que ha cambiado (más dinámicas), y una indicación de aquellas clases que no han cambiado (más estables). También se deriva una evaluación de clases de cobertura y uso, atractoras de territorio de otras clases y de cobertura 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 obtendrán 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 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											TOTAL 1		
		Clases	B1	B2	B...n	Bp1	Bp2	Bp...n	A1	A2	A...n	U		Agua	
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 Primario (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 una proyección cartográfica UTM, Datum-WGS84, Esferoide-WGS84, Zona-15 Norte.

La imagen Landsat ETM del año 2000, se trabajó en una combinación de falso color RGB de las bandas 7, 4, 2 que corresponde al Infrarrojo medio, infrarrojo cercano y al verde. El compuesto muestra en tonos verde a las coberturas forestales vigorosas como los bosques, las tonalidades que van de rosas a violetas a los matorrales y el chaparral (Figura 3).

Por su parte en las imágenes SPOT de los años 2005 y 2009 el falso color es RGB de las bandas 3, 1, 4 y corresponde al infrarrojo cercano, verde e infrarrojo medio respectivamente. En diferentes tonos de verde la imagen muestra la vegetación de bosques, y en tonos de azul los matorrales (Figura 4 y 5).



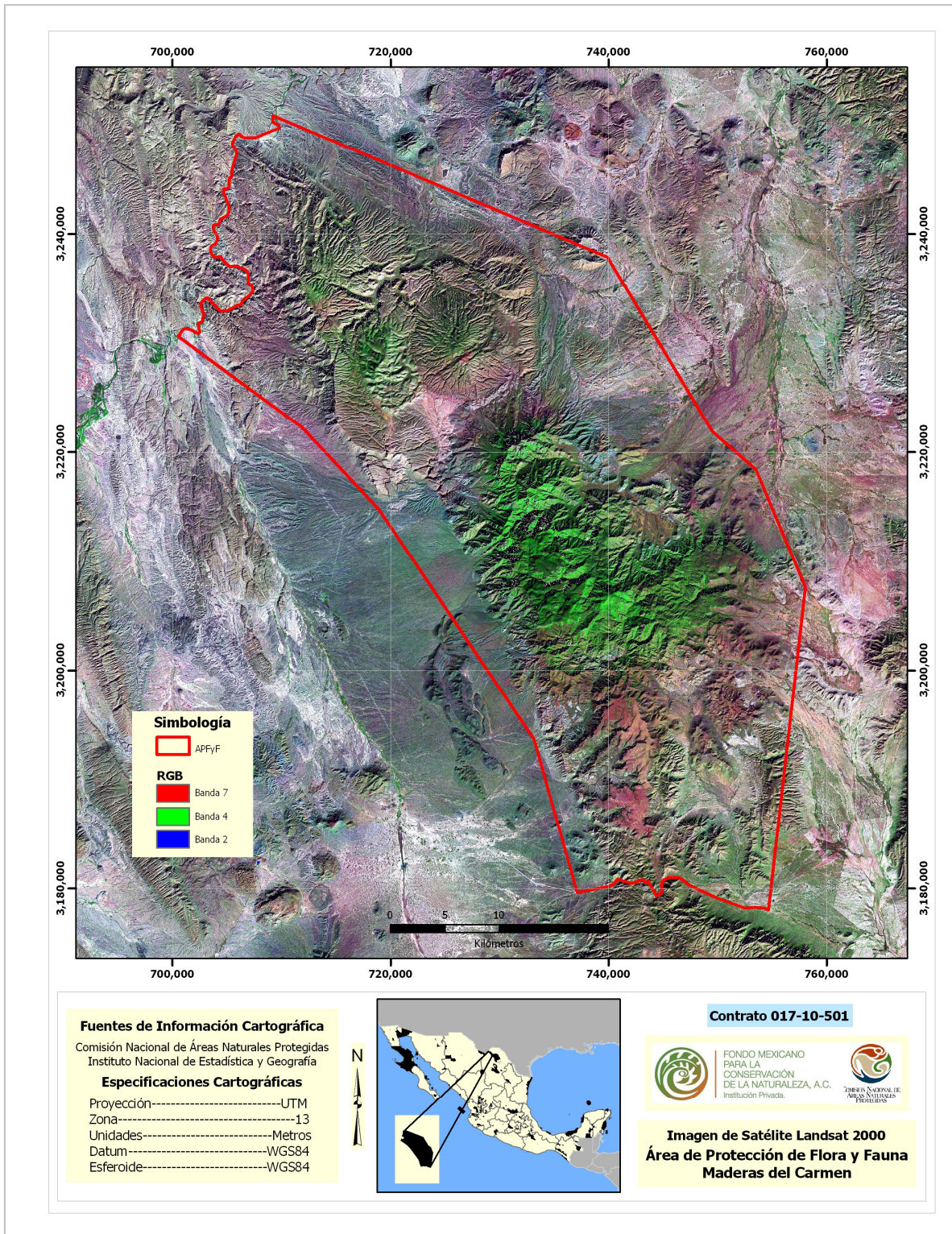


Figura 3.- Imagen de satélite Landsat ETM 2000, falso color RGB 7 4 2



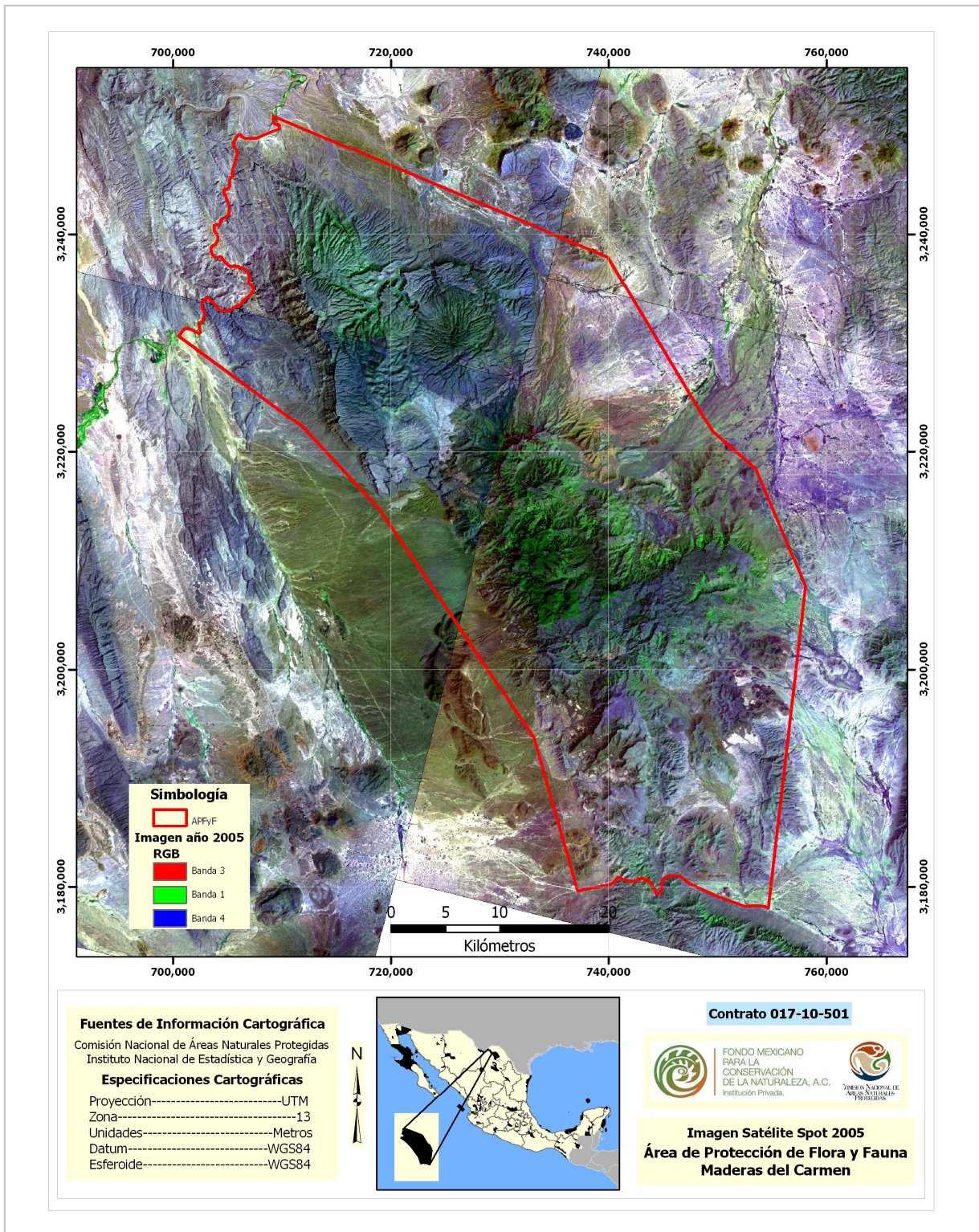


Figura 4.- Imágenes de Satélite SPOT 2005, falso color RGB 3 1 4



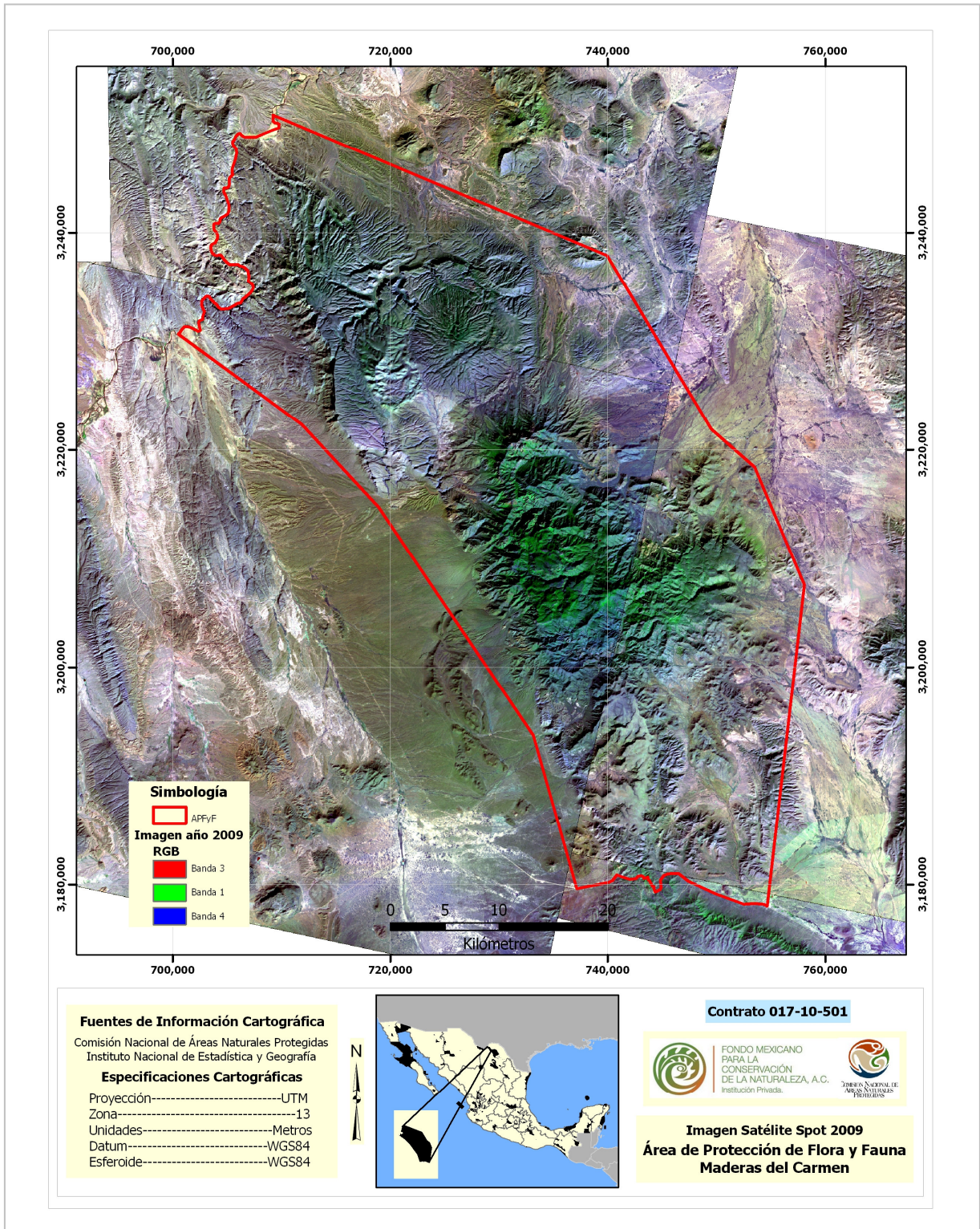


Figura 5.- Imágenes de Satélite SPOT 2009, falso color RGB 3 1 4

### Uso del Suelo y Vegetación

Fue calculada la superficie por tipo de uso del suelo y vegetación para el Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen, a continuación se mostrarán en la tabla 3 los resultados obtenidos.

Tabla 3.- Superficie de Uso del Suelo y Vegetación para los años 2000, 2005 y 2009

Cubierta del suelo APFyF Maderas del Carmen						
Uso de Suelo y Vegetación	2000		2005		2009	
FORESTAL	HA	%	HA	%	HA	%
Area Sin Vegetacion Aparente	262	0.13	262	0.13	262	0.13
Bosque de Ayarin	606	0.29	606	0.29	606	0.29
Bosque de Encino	6,947	3.35	6,947	3.35	6,947	3.35
Bosque de Encino-Pino	7,208	3.47	7,208	3.47	7,202	3.47
Bosque de Pino	6,627	3.19	6,627	3.19	6,627	3.19
Bosque de Pino-Encino	7,299	3.52	7,299	3.52	7,299	3.52
Chaparral	11,366	5.47	11,366	5.47	11,366	5.47
Matorral Desertico Microfilo	15,198	7.32	15,191	7.32	15,190	7.32
Matorral Desertico Rosetofilo	56,823	27.37	56,821	27.37	56,814	27.36
Pastizal Halofilo	463	0.22	462	0.22	462	0.22
Pastizal Natural	43,276	20.84	43,271	20.84	43,264	20.84
Bosque de Encino/vs	43,323	20.87	43,320	20.87	43,320	20.87
Bosque de Encino-Pino/vs	3,725	1.79	3,725	1.79	3,725	1.79
Bosque de Pino/vs	2,980	1.44	2,972	1.43	2,960	1.43
Bosque de Pino-Encino/vs	1,233	0.59	1,233	0.59	1,233	0.59
<b>Subtotal</b>	<b>207,335</b>	<b>99.86</b>	<b>207,309</b>	<b>99.85</b>	<b>207,277</b>	<b>99.83</b>
<b>NO FORESTAL</b>						
Area Agricola	24	0.01	27	0.01	34	0.02
Asentamientos Humanos	8	0.00	8	0.00	8	0.00
Infraestructura	24	0.01	24	0.01	24	0.01
Pastizal Inducido	197	0.10	220	0.11	246	0.12
<b>Subtotal</b>	<b>253</b>	<b>0.12</b>	<b>279</b>	<b>0.13</b>	<b>312</b>	<b>0.15</b>
<b>OTROS</b>						
Cuerpo de Agua	32	0.02	32	0.02	32	0.02
<b>Subtotal</b>	<b>32</b>	<b>0.02</b>	<b>32</b>	<b>0.02</b>	<b>32</b>	<b>0.02</b>
<b>Total</b>	<b>207,621</b>	<b>100</b>	<b>207,621</b>	<b>100</b>	<b>207,621</b>	<b>100</b>

En el grupo Forestal la superficie al inicio del periodo, en el año 2000, es de 207, 335 hectáreas quedando en 207, 277 Ha en el año 2009, estas cantidades corresponden al 99.86% y 99.83% respectivamente; de superficie cubierta. Por su parte, el grupo No Forestal presentó una superficie de 253 hectáreas en el año 2000 la cual aumento a 312 hectáreas para el año 2009; cifras que corresponden al 0.12% y 0.15% respectivamente. Los cuerpos de agua

presentan una superficie de 32 hectáreas misma que se mantuvo durante todo el periodo.

Dentro del grupo Forestal el tipo de vegetación dominante es el bosque de encino con vegetación secundaria, esta clase cubre una superficie de 43, 323 hectáreas (20.87%) para el año 2000, y 43, 320 hectáreas (20.87%) en el año 2009. Le sigue el pastizal natural con una superficie de 43, 276 hectáreas (20.84%) en el año 2000 y, 43, 264 hectáreas (20.84%) para el año 2009.

En el grupo No forestal, la clase pastizal inducido es la que cubre mayor superficie en el área, esta clase presentó 197 hectáreas en el año 2000, lo que representa el 0.10% de la superficie total del área; y 246 hectáreas (0.12) para el año 2009.

A continuación se presentan los mapas en donde pueden ser observados los grupos Forestal y No Forestal en los años 2000, 2005 y 2009 (Figuras 6, 7 y 8); en ellos el color verde representa a las áreas forestales, mientras que el color amarillo corresponde a las áreas no forestales.

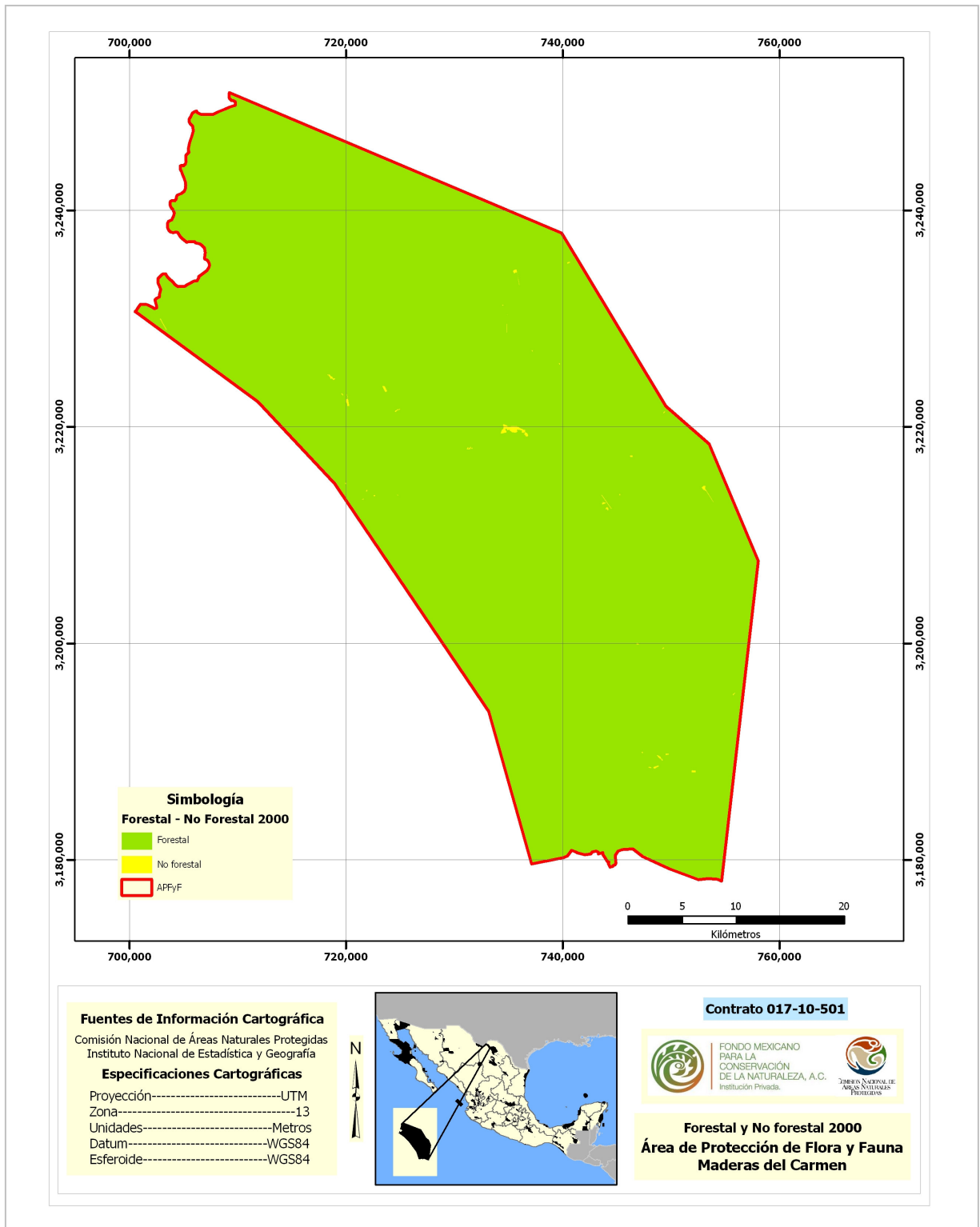


Figura 6.- Grupos Forestal-No Forestal año 2000



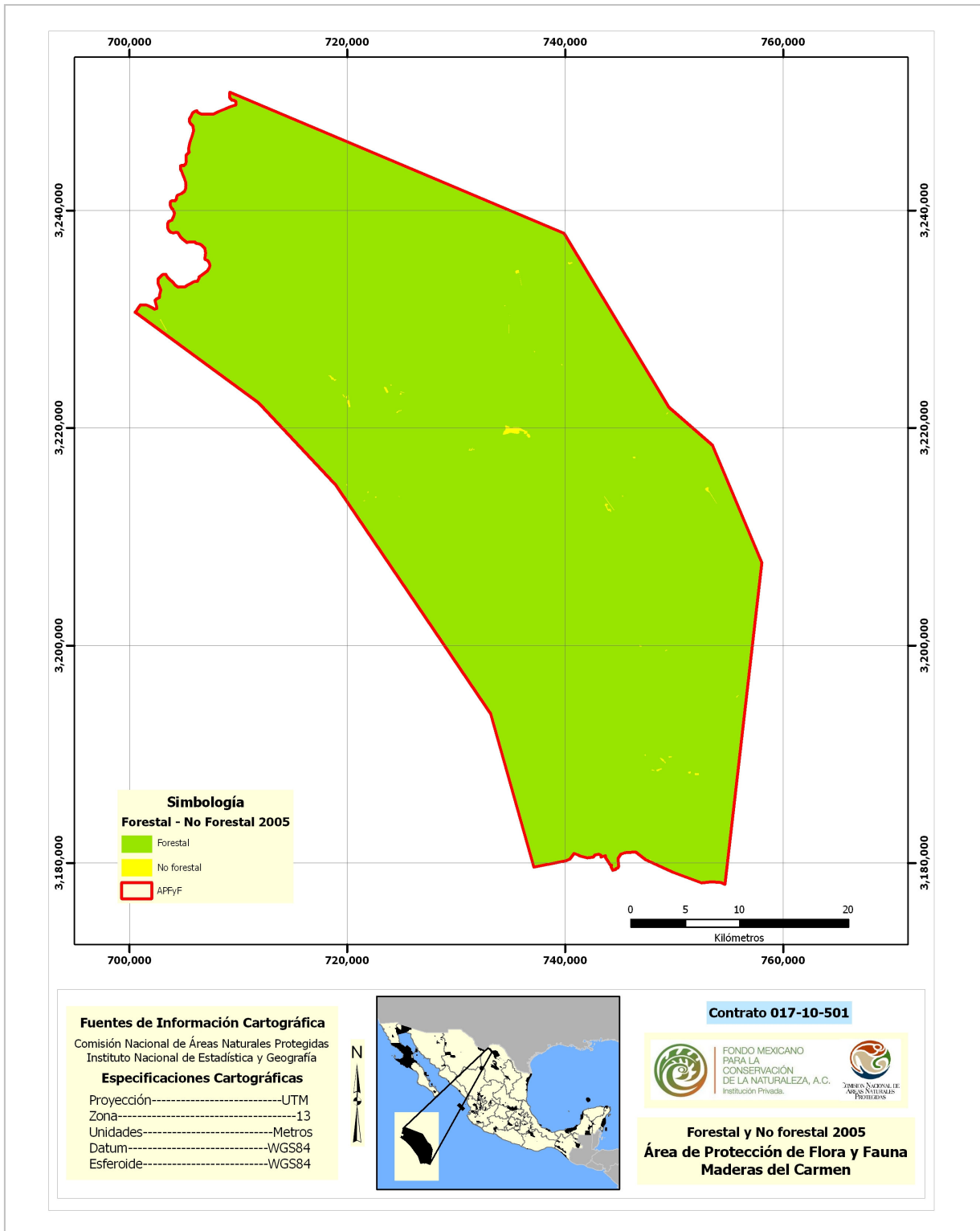


Figura 7.- Grupos Forestal-No Forestal año 2005

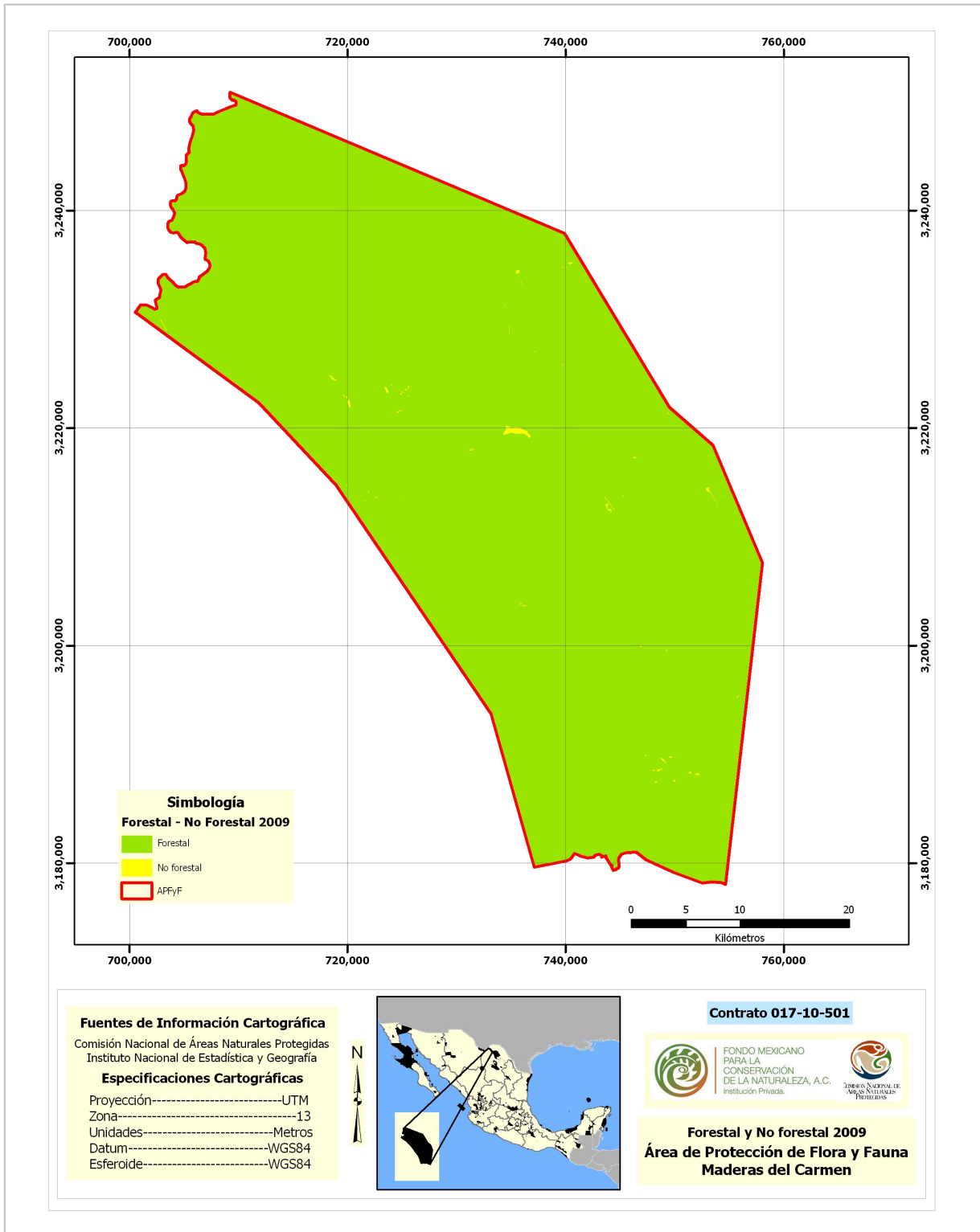


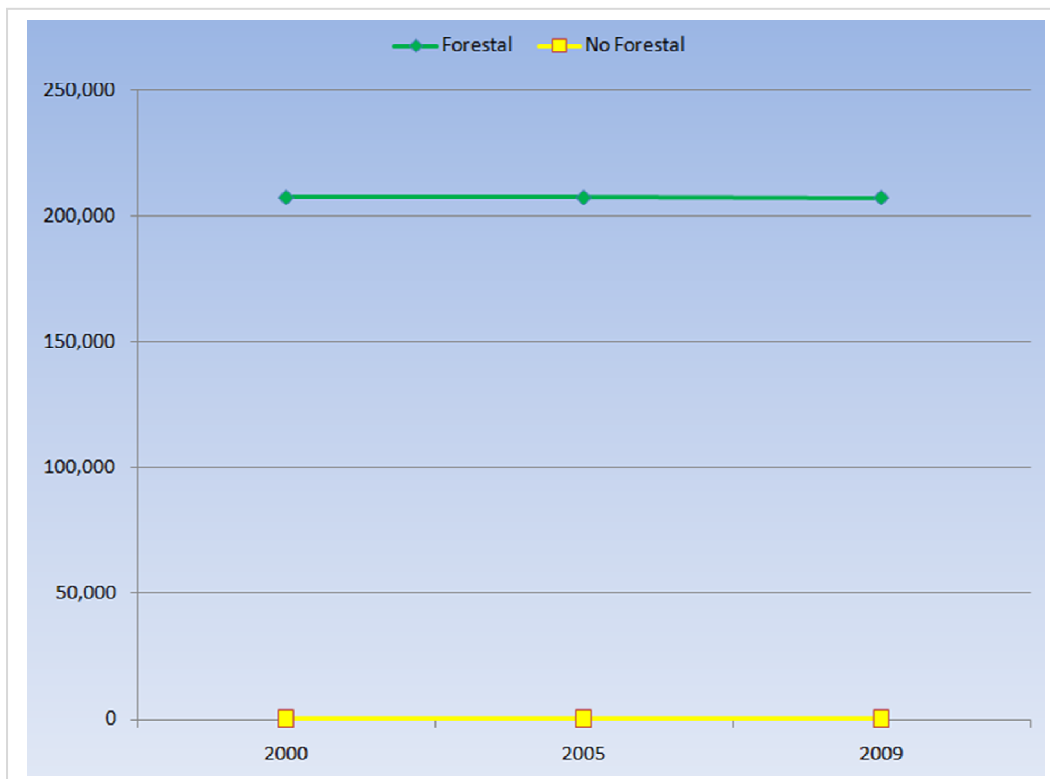
Figura 8.- Grupos Forestal-No Forestal año 2009

La siguiente tabla (4) muestra la superficie de los grupos Forestal y No forestal para los años 2000, 2005 y 2009; y es representada en la figura 9, en la cual se observa que durante el periodo de 9 años la cobertura forestal y no forestal se mantiene constante a través del tiempo.

Tabla 4. Superficie Forestal- No Forestal

Años	Forestal (Ha)	No Forestal (Ha)
2000	207, 335	253
2005	207, 309	279
2009	207, 277	312

Figura 9. Superficie Forestal y No Forestal



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, 2005 y 2009 (Fig. 10, 11 y 12).

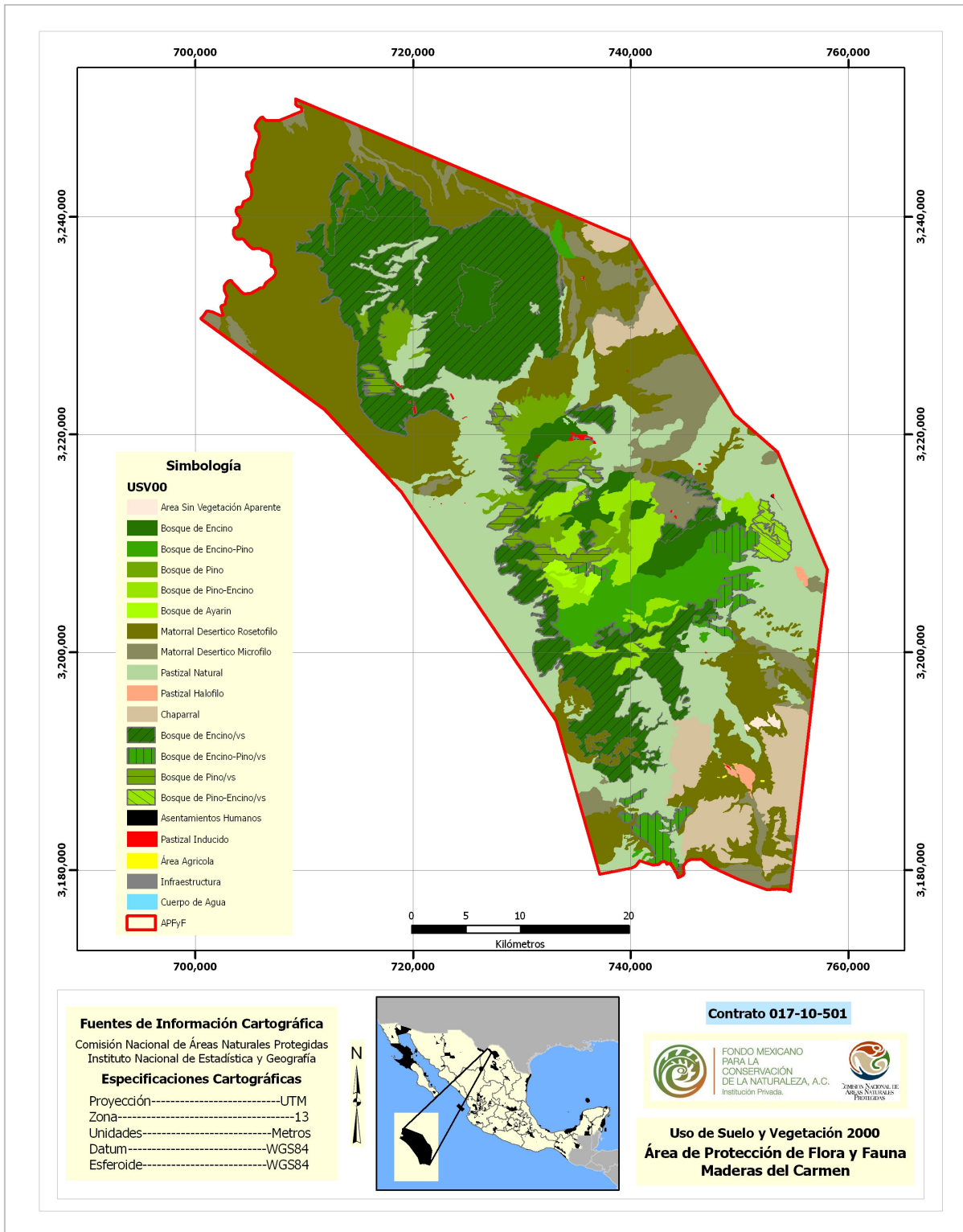


Figura 10- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen Landsat ETM 2000



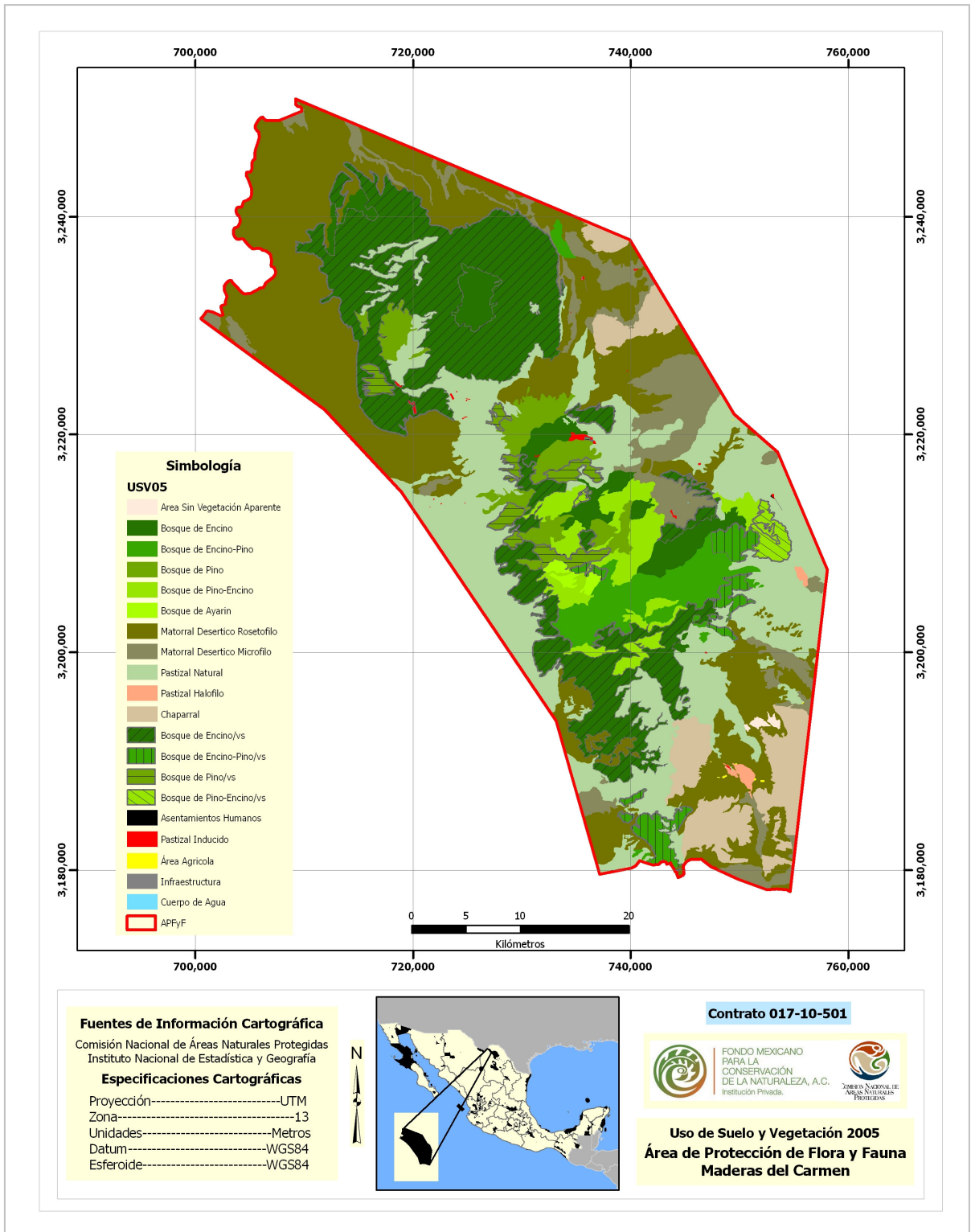


Figura 11.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2005

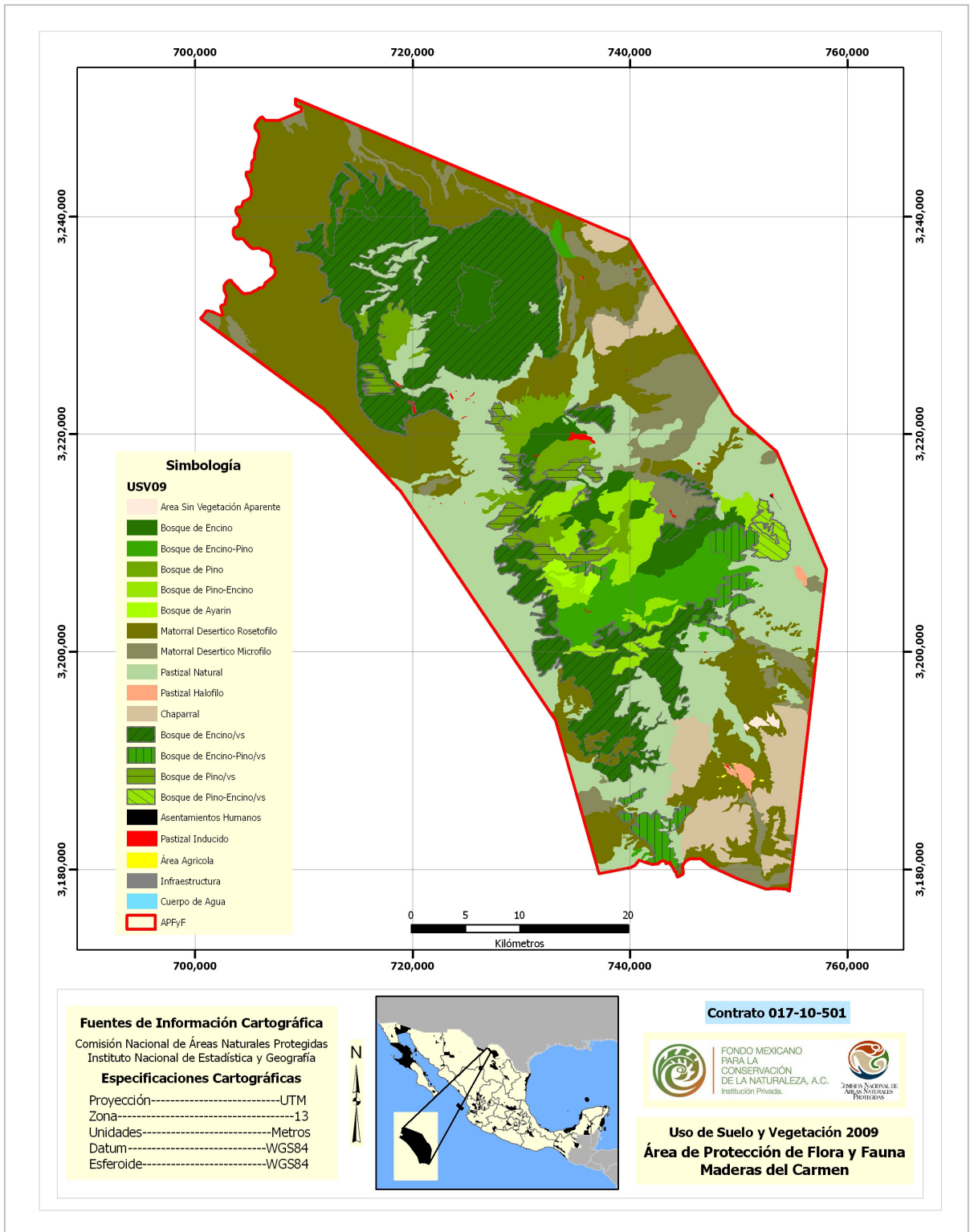


Figura 12.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2009

### ***Áreas de Cambio***

Con la elaboración de matrices de cambio se obtuvo la superficie transformada de las distintas categorías para los periodos 2000- 2005 y 2005-2009. 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 – 2009 (figura 13).

#### ***Matriz de Cambio 2000 - 2005***

La tabla (5) muestra los cambios ocurridos entre el periodo 2000-2005, en ella podemos apreciar que en el área las transformaciones que se presentan únicamente son por deforestación, siendo sus valores relativamente bajos.

Las clases que presentaron deforestación son seis y fueron afectadas por prácticas de desmonte para la introducción de actividades agrícolas y la presencia de pastizal. La clase que más superficie perdió es el bosque de pino con vegetación secundaria con 8 Ha, seguido de la clase matorral desértico micrófilo con una superficie de 7 Ha, y el pastizal natural con 5 Hectáreas. Las clases pastizal halófilo, matorral desértico rosetófilo y bosque de encino con vegetación secundaria perdieron una superficie de 1, 2 y 3 hectáreas respectivamente.

#### ***Matriz de Cambio 2005 - 2009***

Al igual que en el periodo anterior el proceso de deforestación es el que se presento dentro del área natural protegida. Son cinco las clases que resultaron afectadas sobre todo por actividades agrícolas y la introducción de pastos. La clase bosque de pino con vegetación secundaria fue la que más superficie perdió con 13 hectáreas durante este periodo, seguida dl matorral desértico rosetófilo con 7 Ha perdidas y las clases bosque de pino-encino y pastizal natural que perdieron 6 hectáreas.

Tabla 5.- Matriz de transición para el periodo 2000-2005

Matriz de Cambio Maderas del Carmen 2000-2005	Area Sin Vegetación Aparente	Bosque de Ayarín	Bosque de Encino	Bosque de Encino-Pino	Bosque de Pino	Bosque de Pino-Encino	Chaparral	Matorral Desértico Microfillo	Matorral Desértico Rosetofilo	Pastizal Halofilo	Pastizal Natural	Bosque de Encino/vs	Bosque de Encino-Pino/vs	Bosque de Pino/vs	Bosque de Pino-Encino/vs	Asentamientos Humanos	Infraestructura	Pastizal Inducido	Cuerpo de Agua	Total 2000	
Area Sin Vegetación Aparente	262																			262	
Bosque de Ayarín		606																		606	
Bosque de Encino			6,947																	6,947	
Bosque de Encino-Pino				7,208																7,208	
Bosque de Pino					6,627															6,627	
Bosque de Pino-Encino						7,299														7,299	
Chaparral							11,366													11,366	
Matorral Desértico Microfillo								15,191											7	15,198	
Matorral Desértico Rosetofilo									56,821											56,823	
Pastizal Halofilo										462										463	
Pastizal Natural											43,271									43,276	
Bosque de Encino/vs												43,320								43,323	
Bosque de Encino-Pino/vs													3,725							3,725	
Bosque de Pino/vs														2,972						2,980	
Bosque de Pino-Encino/vs															1,233					1,233	
Area Agricola																24				24	
Asentamientos Humanos																	8			8	
Infraestructura																		24		24	
Pastizal Inducido																			197	197	
Cuerpo de Agua																				32	
Total 2005	262	606	6,947	7,208	6,627	7,299	11,366	15,191	56,821	462	43,271	43,320	3,725	2,972	1,233	27	24	8	220	32	207,621

Tabla 6.- Matriz de transición para el periodo 2005-2009

	Area Sin Vegetacion Aparente	Bosque de Ayarín	Bosque de Encino	Bosque de Encino-Pino	Bosque de Pino	Bosque de Pino-Encino	Chaparral	Matorral Desertico Microfillo	Matorral Desertico Rosetofilo	Pastizal Halofilo	Pastizal Natural	Bosque de Encino/vs	Bosque de Encino-Pino/vs	Bosque de Pino/vs	Bosque de Pino-Encino/vs	Area Agricola	Asentamientos Humanos	Infraestructura	Pastizal Inducido	Cuerpo de Agua	Total 2005
Area Sin Vegetacion Aparente	262																				262
Bosque de Ayarín		606																			606
Bosque de Encino			6,947																		6,947
Bosque de Encino-Pino				7,202															6		7,208
Bosque de Pino					6,627																6,627
Bosque de Pino-Encino						7,299															7,299
Chaparral							11,366														11,366
Matorral Desertico Microfillo								15,190													15,191
Matorral Desertico Rosetofilo									56,814												56,821
Pastizal Halofilo										462											462
Pastizal Natural											43,264										43,271
Bosque de Encino/vs												43,320									43,320
Bosque de Encino-Pino/vs													3,725								3,725
Bosque de Pino/vs														2,960							2,972
Bosque de Pino-Encino/vs															1,233						1,233
Area Agricola																27					27
Asentamientos Humanos																	8				8
Infraestructura																		24			24
Pastizal Inducido																			220		220
Cuerpo de Agua																				32	32
Total 2009	262	606	6,947	7,202	6,627	7,299	11,366	15,190	56,814	462	43,264	43,320	3,725	2,960	1,233	27	8	24	220	32	207,621

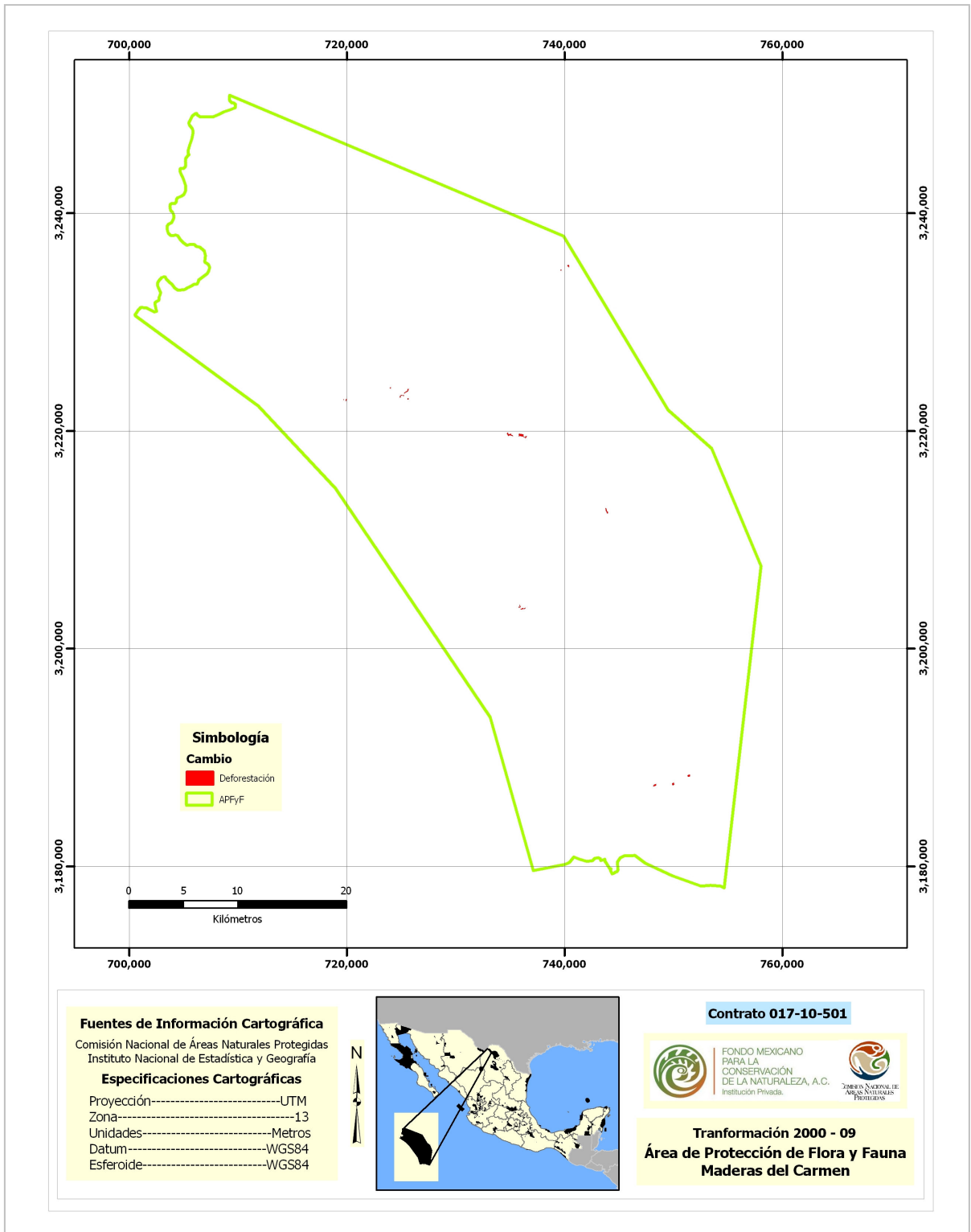


Figura 13.- Áreas de Cambio en el periodo 2000-2009



Durante el periodo 2000 – 2005, un total de 26 hectáreas fueron transformadas, a un ritmo de 5 ha por año (tabla 7).

Tabla 7. Superficie Forestal afectada por No foresta en el periodo 2000-2005

Matriz de Cambio Maderas del Carmen 2000-2005	Area Agrícola	Asentamientos Humanos	Infraestructura	Pastizal Inducido
Area Sin Vegetacion Aparente				
Bosque de Ayarin				
Bosque de Encino				
Bosque de Encino-Pino				
Bosque de Pino				
Bosque de Pino-Encino				
Chaparral				
Matorral Desertico Microfilo				-7
Matorral Desertico Rosetofilo	-2			
Pastizal Halofilo	-1			
Pastizal Natural				-5
Bosque de Encino/vs				-3
Bosque de Encino-Pino/vs				
Bosque de Pino/vs				-8
Bosque de Pino-Encino/vs				
<b>Subtotal</b>	<b>-3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-23</b>
<b>Total de cambio en el periodo HA</b>		<b>-26</b>		
<b>Total por año HA</b>		<b>-5</b>		

Por su parte en el periodo 2005 – 2009, se transformaron un total de 33 hectáreas; poco más de 8 (ha) por año.

Tabla 8.- Superficie Forestal afectada por No forestal en el periodo 2004-2007

Matriz de Cambio Maderas del Carmen 2005-2009	Area Agrícola	Asentamientos Humanos	Infraestructura	Pastizal Inducido
Area Sin Vegetacion Aparente				
Bosque de Ayarin				
Bosque de Encino				
Bosque de Encino-Pino				-6
Bosque de Pino				
Bosque de Pino-Encino				
Chaparral				
Matorral Desertico Microfilo				-1
Matorral Desertico Rosetofilo	-7			
Pastizal Halofilo				
Pastizal Natural				-6
Bosque de Encino/vs				
Bosque de Encino-Pino/vs				
Bosque de Pino/vs				-13
Bosque de Pino-Encino/vs				
<b>Subtotal</b>	<b>-7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-26</b>
<b>Total de cambio en el periodo HA</b>		<b>-33</b>		
<b>Total por año HA</b>		<b>-8</b>		

**Tasa de Transformación del Hábitat.**

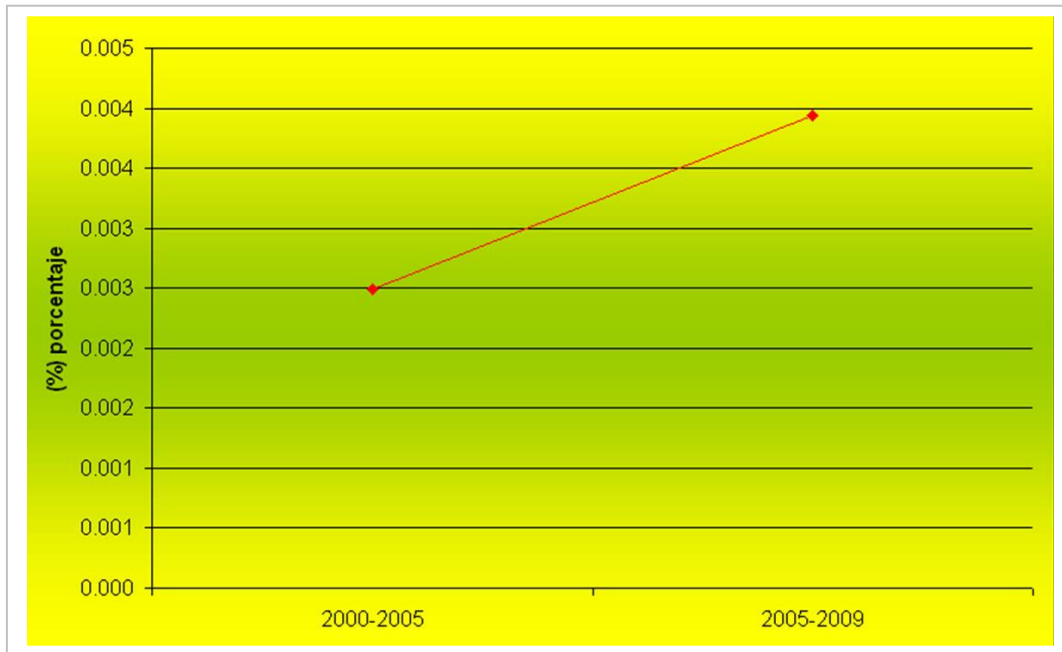
La tasa de transformación en el periodo 2000 – 2009 para área de protección es de 0.003, valor que corresponde a una superficie de 58.57 hectáreas. Para el periodo 2000 – 2005, hubo una transformación en -25.88 hectáreas con una tasa de 0.002. Finalmente para el periodo 2005 – 2009 la tasa de transformación fue de 0.004 correspondiente a -32.69 Ha (tabla 9).

Tabla 9.- Tasa de transformación del hábitat

Período	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual
2000-2005	207,335	207,309	-25.88	5	0.00002	0.002
2005-2009	207,309	207,277	-32.69	4	0.00004	0.004
2000-2009	207,335	207,277	-58.57	9	0.00003	0.003

En la gráfica (fig. 14) se muestra como ha sido el comportamiento de los valores durante el periodo de estudio.

Figura 14.- Tasa de transformación del Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen





## Conclusiones

De acuerdo con los datos que fueron obtenidos a través de la clasificación y procesamiento de las imágenes de satélite Spot y Landsat, se obtuvo que la tasa de transformación para el periodo 2000 – 2009 es de apenas 0.003, correspondiente a -58.57 de cambio en el área. En términos generales la cobertura forestal en el área presenta una ligera disminución, ya que pasa de 207, 335 hectáreas en el año 2000 a 207, 277 hectáreas para el año 2009.

Este valor de tasa de transformación, el cual es bajo comparado con otras áreas (RBMM, RBM) probablemente responde a lo remoto en la ubicación del área de protección, lo que hace poco rentable la extracción de madera. Los resultados obtenidos incluso constatan lo mencionado en el Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen, en donde refieren que el último aprovechamiento comercial maderable se llevo a cabo en el año de 1985 moviéndose únicamente la mitad del volumen total autorizado.

Las características naturales del área (pendiente abrupta), así como la falta de infraestructura que permita un mejor acceso, hacen incosteable la extracción de productos maderables. Sin embargo no existe información reciente que nos indique que la situación que prevalece en el área es la misma que la reportada en el Programa de Manejo. De ahí la importancia de continuar con la realización de este tipo de trabajos, en donde se le de seguimiento a obtener un valor de tasa de transformación y además reforzarlos con información de otros aspectos que de un panorama más actual del área.

## ***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, 2006. Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen. Primera edición. México. 129pp.

Chuvieco, 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.

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 standard errors of kappa and weighted kappa. Psychological Bulletin, 72, 323-327.

García, E. (1973). Modificaciones al Sistema de Clasificación de Köppen. 2ª. Edición. México, UNAM.

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

Moreno García, Cesar; 2009. Estudio sobre el Cambio de Uso del Suelo en la Reserva de la Biósfera de Mapimí 2000-2007. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Región Noreste y Sierra Madre Oriental. México. 60 pags.

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

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

### **Referencias Web**

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

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