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

COMISION NACIONAL DE AREAS 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 Cañón de Santa Elena

Cañón de Santa Elena
Área de Protección de Flora y Fauna

Nombre del Consultor:
PIMAIG Procesamiento Integración Manejo y Análisis de Información Geográfica S.A. de C.V.

Periodo del Reporte:
01 al 31 de Marzo de 2010

Morelia, Michoacán
16 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

Luis Fernando Gopar Merino
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

Introducción ____ *4*

Antecedentes ____ *7*

Objetivo ____ *9*

Área de Estudio ____ *10*

Material ____ *15*

Polígono oficial ____ **15**

Imágenes de satélite ____ **15**

Modelo Digital de Elevación (MDE) ____ **16**

Metodología ____ *18*

Rectificación de imágenes de satélite ____ **18**

Clasificación de imágenes de satélite ____ **19**

Áreas de cambio ____ **21**

Tasa de Transformación ____ **23**

Resultados ____ *24*

Imágenes de satélite ____ **24**

Uso del Suelo y Vegetación ____ **28**

Áreas de Cambio ____ **37**

Matriz de Cambio 2000 - 2005 ____ **37**

Matriz de Cambio 2005 - 2009 ____ **37**

Tasa de Transformación del Hábitat. ____ **43**

Conclusiones ____ *45*

Bibliografía ____ *46*

Introducción

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) es un órgano desconcentrado de la Secretaria 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 Caracterization) 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 CONAP, 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 intensión 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 Cañón de Santa Elena, que presenta una gran importancia en virtud de la diversidad biológica que existe en ella, tanto de flora como de fauna, así como una variedad de ecosistemas que van desde matorrales desérticos, áreas ribereñas, pastizales, hasta llegar a bosques de encino-pino y pino-encino, por lo que ésta se convierte en una zona con características muy especiales, resultado de una gran variación fisiográfica, ya que se encuentran altitudes que oscilan desde los 575 hasta los 2401 msnm. Entre las especies de importancia ecológica se encuentran 79 con estatus de protección, de las cuales 13 son de flora, y 66 de fauna.

Objetivo

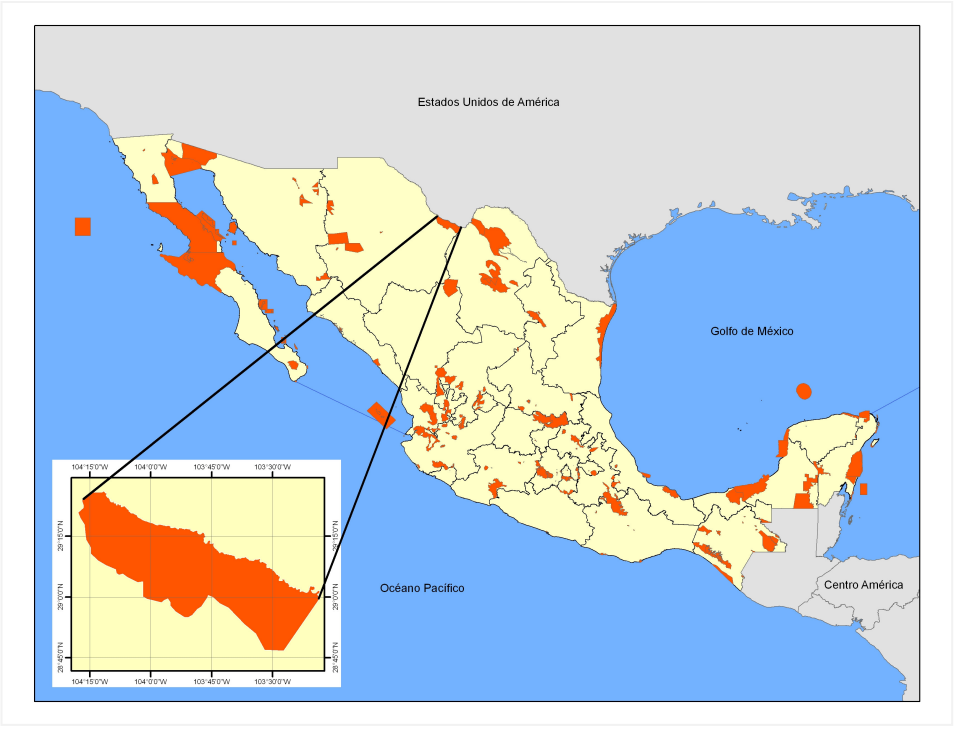
- Estimar y/o actualizar la tasa de transformación del hábitat del Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena, durante el período 2000, 2005 y 2008.

Área de Estudio

El Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena se localiza en el extremo noreste del estado de Chihuahua. Su límite al norte es la frontera con Estados Unidos de América sobre la ribera del Río Bravo, con una longitud de 119 Km. y en su parte oeste limita con el Estado de Coahuila. Tiene una superficie de 277,209-72-12.5 hectáreas, localizadas en los municipios de Manuel Benavides y Ojinaga, Chihuahua.

Figura 1. Localización del Área de Protección

de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena



La región presenta un basamento de calizas cretácicas, sobre el que se desarrolló actividad volcánica durante el Terciario Medio. A fines de la era Mesozoica se acentuó otro acontecimiento tectónico iniciado tal vez desde el periodo Triásico: el choque de las placas de Norteamérica (continental) y la del Pacífico oriental, llamada de Farallón (oceánica), produjo la subducción de esta

última bajo el continente norteamericano, lo levantó y originó intenso vulcanismo, con la consecuente formación de yacimientos minerales durante el subsecuente hidrotermalismo.

Los procesos distensivos del lado oriental de Chihuahua han originado varias cuencas endorreicas de desagüe hacia sus centros, al hundirse los valles situados entre las fallas normales que producen los hundimientos. A lo largo del Bravo hay algunos valles cuyos fondos son profundos y representan las fosas hundidas entre fallas por la distensión que se extiende a lo largo del río. El detalle geomorfológico más notable en la región es el Cañón de Santa Elena, que indica un claro proceso de rejuvenecimiento. Al irse plegando los sedimentos mesozoicos, el río Bravo continuó cortándolos, formando los hermosos cantiles que encauzan al río.

Los principales sistemas fisiográficos que caracterizan al APFF son las sierras Sierra Rica, El Mulato y El Ranchito, que se localizan en la parte noroeste, con elevaciones máximas de 2,401, 1,840 y 1,819 msnm, respectivamente. Entre ellas se ubican los valles del Álamo, Chapo, El Mulato y Rancho Blanco. En la parte noreste, están los picos de Sierra Azul y El Matadero; entre éstos se destacan los lomeríos bajos de Manuel Benavides, Paso Lajitas y San Antonio, que cuentan con perfiles geológicos representativos de la región.

El APFF se encuentra dentro de la región hidrológica Bravo-Conchos (RH24). La cuenca río Bravo-Ojinaga (H), donde la precipitación promedio anual es de 281 mm, la evapotranspiración de 98% y el escurrimiento de 1.8%. Con base en estas características se tiene que esa área de drenaje posee un déficit de agua de 700 mm en los valles, 600 mm en los pies de sierras y de 500 mm en las zonas de recarga básica (Sierra Rica y otras cordilleras) (INEGI, 1990b). El balance hídrico en la cuenca, según datos climáticos de las estaciones Ojinaga y Santa Elena, muestra una situación crítica a través de todo el año para la disponibilidad de agua tanto superficial como de recarga.

El clima corresponde a árido o desértico (tipo BWhw) de acuerdo a la clasificación de Köppen, cuya descripción es: temperatura media anual entre 18 y 22 ºC, con una temperatura del mes más frío menor a 18 ºC y una temperatura del mes más caliente mayor a 22 ºC. Presenta lluvias de verano (junio a septiembre), y en las lluvias invernales se registra del 5 al 10% del total de precipitación anual (García y CONABIO 1998). Según González (2001), la precipitación media anual es de 286.1 mm en Ojinaga, de 342.2 mm en Manuel Benavides y de 570.71 mm en el área de Sierra Rica. La temperatura media anual es de 21.6 ℃, con rangos que varían de 10.3 ℃ en el mes de enero a 31.0 ℃ en junio, siendo los meses más cálidos junio, julio y agosto, con 31.0, 30.9 y 30.2 ℃, respectivamente; y enero el mes con menor temperatura, 10.3 ℃.

En el APFF se presentan siete unidades principales de suelo que, de acuerdo a la clasificación de FAO/UNESCO (1970), son las siguientes: Xerosol, estos suelos son pobres en materia orgánica, con potencial para desarrollo de matorrales y pastizales, no son aptos para cultivos. Yermosol, en el área de estudio se encuentran en la mayor parte de las zonas bajas, sin influencia de arrastre pluvial, las cuales se localizan principalmente en los límites de los estados de Chihuahua y Coahuila; en este tipo de suelos solamente pueden establecerse pastos nativos y matorrales por lo que no son tierras aptas para abrirse a cultivos. Rendzina, Este tipo de suelos se encuentra en pequeñas superficies ubicadas en la zona aledaña a Sierra Rica; en este tipo de suelos es donde se encuentran los mejores pastizales del área protegida, en las partes más altas, asociados con encino y táscate, no son aptos para la agricultura debido a que son suelos poco profundos.

Asimismo encontramos Regosol, este se presenta en grandes extensiones en toda el área, casi todas colindantes con el río Bravo, solamente algunos matorrales pueden adaptarse a este tipo de suelo. Litosol, son suelos poco profundos, expuestos sobre roca dura, con muy poco desarrollo, sus características varían de acuerdo al origen de la roca, dentro del área protegida se

pueden localizar en todas las sierras. Son suelos aptos para pastizales, arbustos y árboles como encino y táscate, no son adecuados para la agricultura. Fluvisol, Son suelos arrastrados y depositados por el agua, están formados por material suelto que no forma terrones y en el área los encontramos a los costados del río Bravo, en el río San Carlos y en todos los demás ríos y arroyos importantes. En estos suelos la vegetación nativa se desarrolla abundantemente, ya sean pastizales o matorrales, son susceptibles de abrirse al cultivo, ya sea de riego o temporal. Feosem, estos suelos se encuentran en el sur de Manuel Benavides y en las estribaciones de la sierra del Mulato y Sierra Rica; son suelos aptos sólo para matorrales y pastos.

Todos los suelos mencionados presentan un total de cuatro subunidades que son: háplico, eútrico, calcárico y crómico.

Sobre esta variedad de suelos se han desarrollado varios tipos de vegetación, el área de protección está formada por cuatro comunidades vegetales: vegetación ribereña, matorral desértico (micrófilo y rosetófilo), pastizal y bosque. Su composición y fisonomía varía con la topografía y tipo de suelo, a continuación se describen sus características:

Vegetación ribereña.- caracterizada por la presencia de un estrato arbóreo constituido por álamos y sauces, esparcidos a lo largo de las riberas de arroyos húmedos y del río Bravo. Esta asociación no constituye un tipo de vegetación definido, ya que suele mezclarse con elementos de los tipos de vegetación circundantes. En el Área de Protección las especies presentes son: Alamo (*Populus acuminata)*, Sauce (*Salix nigra)*, Mezquite (*Prosopis glandulosa*), Acibuche (*Celtis reticulata*).

Matorral desértico micrófilo.- constituido por especies de hojas pequeñas y talla arbustiva que se establecen en valles de suelos aluviales y en lomeríos suaves, bajo la influencia de un clima desértico. Guamis (*Larrea tridentata*)

Hojasén (*Flourensia cernua*) Mariola (*Parthenium incanum*), Nogal (*Cimarrón juglans* major), Acibuche (*Celtis reticulata*) Mezquite (*Prosopis glandulosa*), entre otras.

Matorral desértico rosetófilo. Se caracteriza por la dominancia de especies cuyas hojas se encuentran acomodadas en roseta, algunas de las cuales carecen de tallos (maguey, lechuguilla) presentándose las hojas sólo en forma basal; o bien son plantas con tallos definidos (palma, sotol), que cuentan con hojas vivas sólo en el ápice del tallo único o en el ápice de sus ramificaciones. Este tipo de vegetación puede formar "bosquecillos" de palmas en suelos aluviales mezclados con el matorral micrófilo (*Yucca spp*.) sotol (*Dasylirion leiophyllum*) en el estrato herbáceo, y lechuguilla (*Agave lecheguilla*) en el estrato bajo.

Pastizal.- comunidad vegetal natural formada por un estrato herbáceo, constituido por gramíneas perennes con una cobertura mayor del 70%. Dentro del área de estudio el pastizal se establece donde el matorral rosetófilo se ve limitado por la altitud las especies de gramíneas localizadas en esta comunidad son: Zacate chino (*Hilaria belangeri)*, Zacate lobero (*Lycurus phleoides*), Liendrillas (*Muhlenbergia rigida*), Encinos (*Quercus sp*), entre otras.

Bosque.- Se encuentra en una altitud de entre los 2,250 y 3,000 msnm en un clima templado. Dentro del Área Protegida, el bosque se localiza en la parte más alta de la Sierra Rica, desde los 2,250 msnm. Está representada por el bosque de pino-encino y aunque sólo constituye una pequeña porción del área total del proyecto, es una de las más importantes debido a lo vulnerable de este ecosistema y a la función que tiene en la captación de agua y en la conservación del suelo. Asimismo, constituye uno de los pocos refugios de fauna mayor, dentro del APFF. Las especies arbóreas identificadas en esta comunidad de vegetación son los pinos piñoneros (*Pinus remota* y *P. cembroides*), encinos blancos (*Quercus gricea* y *Q. arizonica*), madroño (*Arbutus arizonica*) y el cedro blanco (*Cupressus arizonica*) entre otros.

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 APFyF Cañón de Santa Elena

Satélite	Path	Row	Fecha	Resolución (metros)	Número de bandas
ETM	30	40	28-nov-00	30	6
				15	1
ETM	31	40	02-oct-00	30	6
				15	1

Se tomó como base el polígono de la ANP ÁPFyF Cañón de Santa Elena, 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 8 imágenes fueron solicitadas y utilizadas para el cubrimiento completo del área de estudio (Tabla 2).

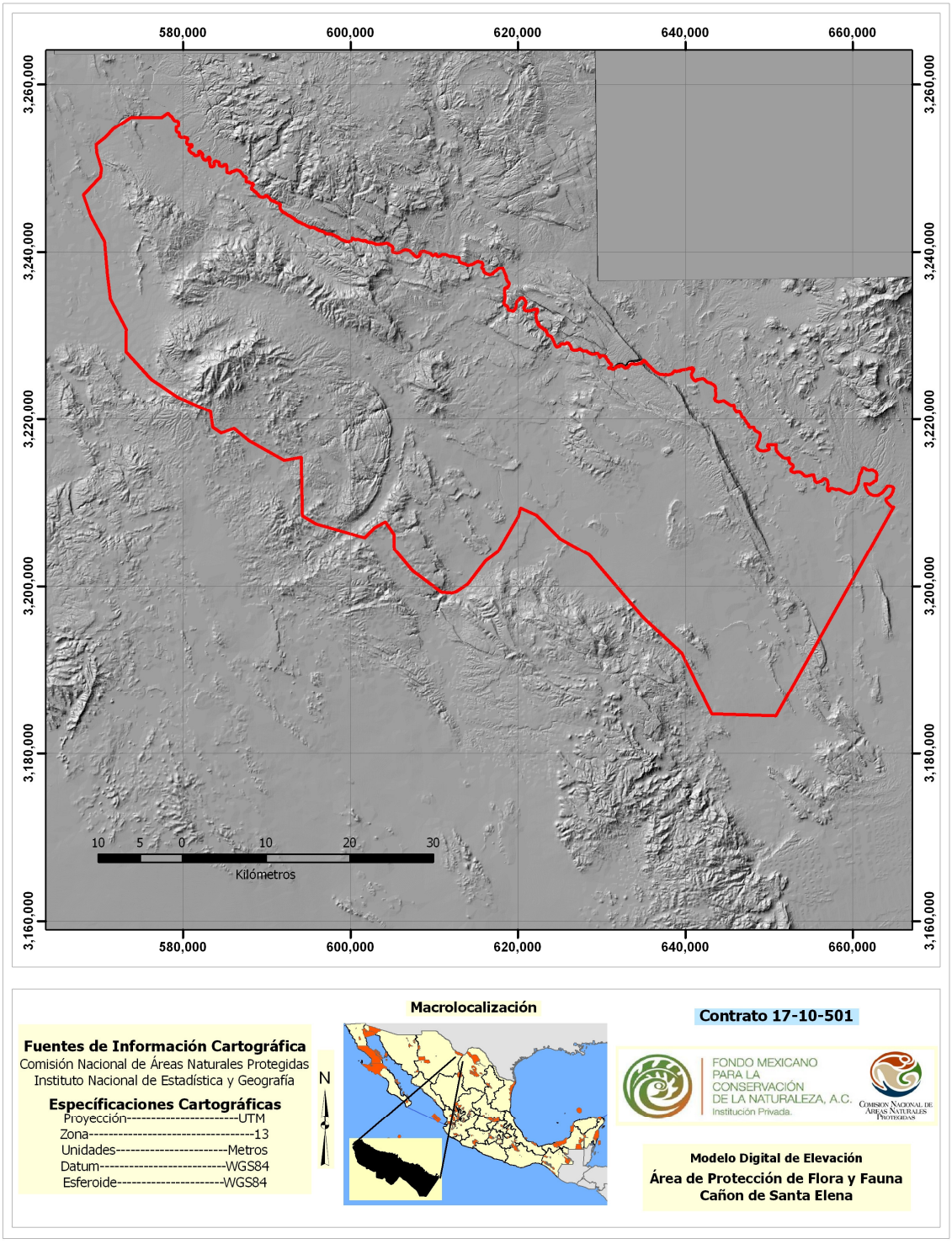
Tabla 2.- Imágenes de satélite SPOT para La Reserva de la Biósfera Mapimí

Sensor	K	J	Fecha	Resolución espacial (metros)	Número de bandas	Tipo	Nivel de Procesamiento
SPOT	573	291	03-jul-05	10	4	**Multiespectral**	**1A**
				2.5	1	**Pancromática**	**1A**
SPOT	573	292	03-jul-05	10	4	**Multiespectral**	**1A**
				2.5	1	**Pancromática**	**1A**
SPOT	574	292	09-jul-05	10	4	**Multiespectral**	**1A**
				2.5	1	**Pancromática**	**1A**
SPOT	575	292	05-jul-05	10	4	**Multiespectral**	**1A**
				2.5	1	**Pancromática**	**1A**
SPOT	572	291	07-mar-08	10	4	**Multiespectral**	**1A**
				2.5	1	**Pancromática**	**1A**
SPOT	572	292	07-mar-08	10	4	**Multiespectral**	**1A**
				2.5	1	**Pancromática**	**1A**
SPOT	574	292	04-feb-09	10	4	**Multiespectral**	**1A**
				2.5	1	**Pancromática**	**1A**
SPOT	574	292	19-may-08	10	4	**Multiespectral**	**1A**
				2.5	1	**Pancromática**	**1A**

Modelo Digital de Elevación (MDE)

La figura 2 muestra el MDE para la RBM.

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 intensión 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 colectar 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^2 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											
	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										O		
	Agua												
	TOTAL 2												

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

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:

δ = tasa de cambio
S1 = superficie forestal, al inicio del periodo
S2 = superficie forestal, al final del periodo
n = número de años entre las dos fechas

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 trabajo en una combinación de falso color RGB de las bandas 3, 1, 4 que corresponde al rojo, azul e infrarojo cercano (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 (Figura 4 y 5).

Figura 3.- Imagen de satélite Landsat ETM 2000, falso color RGB 3 1 4

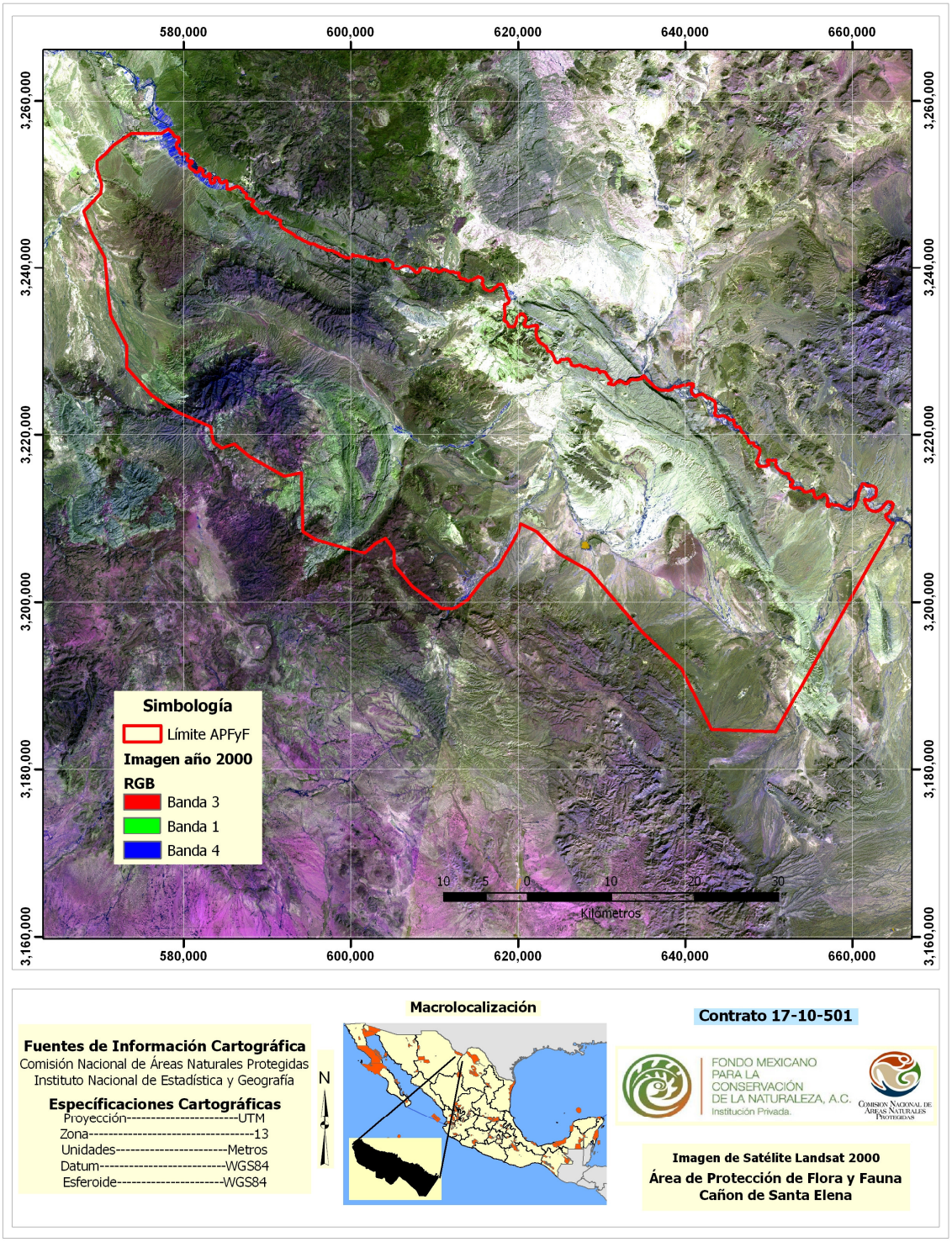


Figura 4.- Imágenes de Satélite SPOT 2005, falso color RGB 3 1 4

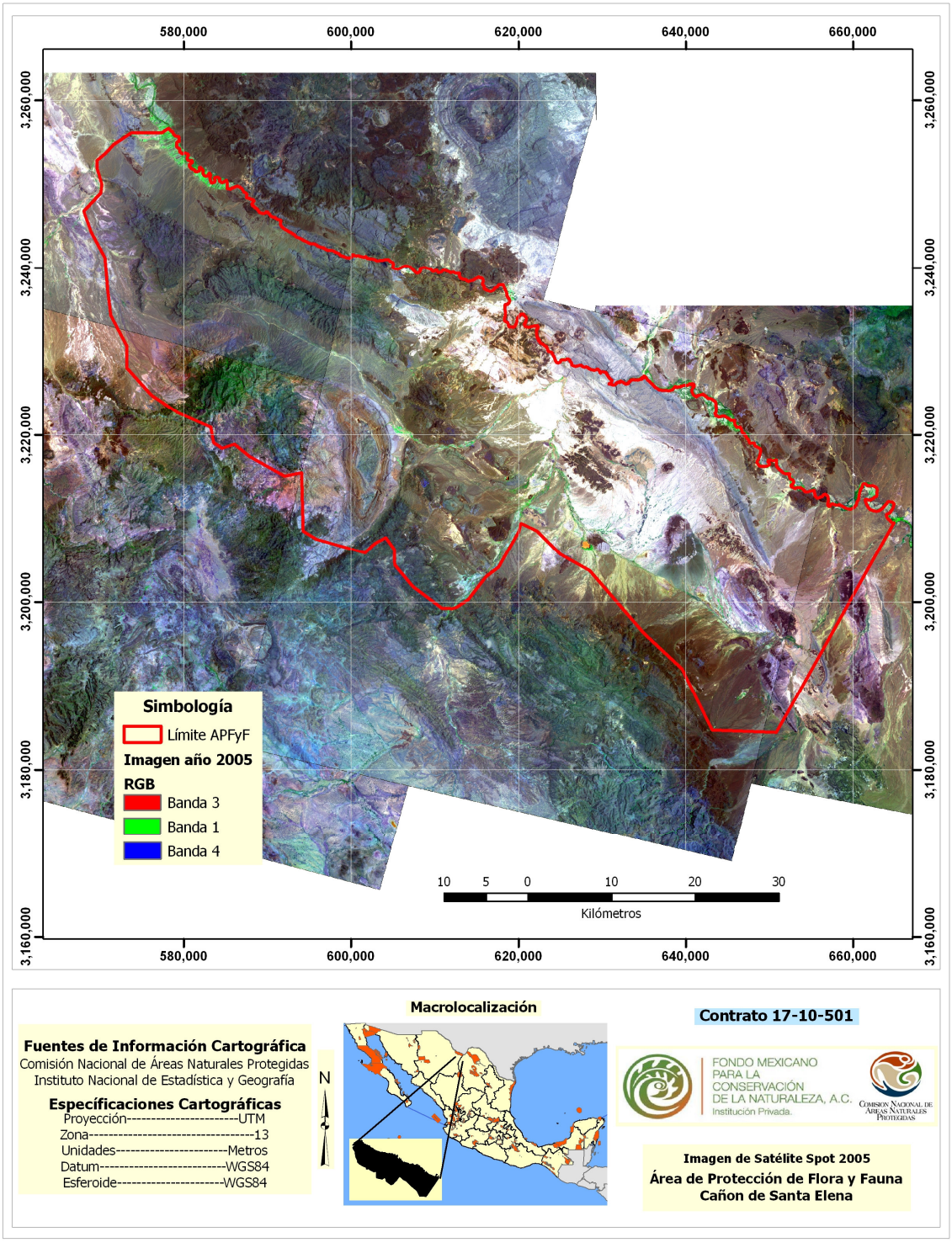
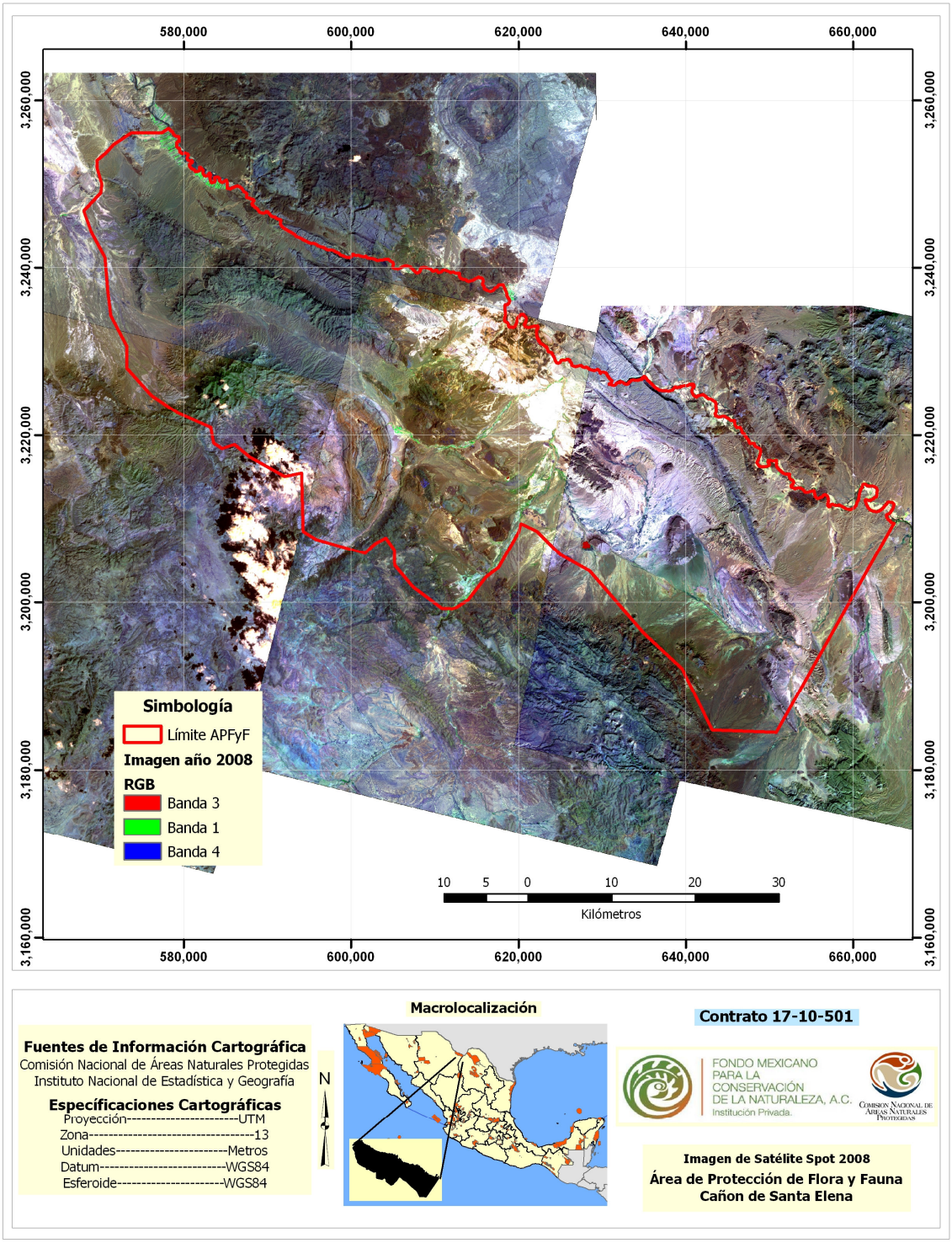


Figura 5.- Imágenes de Satélite SPOT 2008, falso color RGB 3 1 4



Uso del Suelo y Vegetación

Fue calculada la superficie por tipo de uso del suelo y vegetación para cada año del Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena, 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 2008

Cubierta del suelo (Ha) APFyF Cañón de Santa Elena						
Uso de Suelo y Vegetación	**2000**		**2005**		**2008**	
FORESTAL	**HA**	**%**	**HA**	**%**	**HA**	**%**
Area Sin Vegetación Aparente	1,877	0.68	1,875	0.68	1,874	0.68
Bosque de Encino	1,653	0.60	1,653	0.60	1,653	0.60
Bosque de Pino-Encino	1,022	0.37	1,022	0.37	1,022	0.37
Matorral Desertico Microfilo	137,652	49.60	137,571	49.57	137,522	49.56
Matorral Desertico Rosetofilo	100,766	36.31	100,752	36.31	100,746	36.30
Pastizal Natural	4,912	1.77	4,912	1.77	4,912	1.77
Vegetación de Galeria	1,680	0.61	1,657	0.60	1,612	0.58
Bosque de Encino/vs	198	0.07	198	0.07	198	0.07
Bosque de Pino-Encino/vs	911	0.33	911	0.33	911	0.33
Matorral Desertico Microfilo/vs	11,008	3.97	10,974	3.95	10,983	3.96
Matorral Desertico Rosetofilo/vs	9,758	3.52	9,758	3.52	9,758	3.52
Subtotal	**271,437**	**97.81**	**271,283**	**97.76**	**271,193**	**97.72**
NO FORESTAL						
Area Agricola	3,362	1.21	3,418	1.23	3,432	1.24
Asentamientos Humanos	386	0.14	386	0.14	386	0.14
Infraestructura	4	0.00	4	0.00	4	0.00
Pastizal Inducido	2,225	0.80	2,317	0.83	2,382	0.86
Subtotal	**5,978**	**2.15**	**6,125**	**2.21**	**6,204**	**2.24**
OTROS						
Cuerpo de Agua	97	0.03	103	0.04	115	0.04
Subtotal	**97**	**0.03**	**103**	**0.04**	**115**	**0.04**
TOTAL	**277,512**	**100.00**	**277,512**	**100.00**	**277,512**	**100.00**

En el grupo Forestal la superficie va de 271, 437 hectáreas en el año 2000, a 271, 193 hectáreas en el año 2008, estas cantidades corresponden al 97.81% y 97.72% respectivamente; de superficie cubierta. Por otra parte, en el grupo No Forestal la superficie va de 5, 978 hectáreas en el año 2000 a 6, 204 hectáreas en el año 2008; cifras que corresponden al 2.15% y 2.24% respectivamente. Los cuerpos de agua presentan una superficie de 97 hectáreas (0.03%) en el año 2000 misma que aumenta para el año 2008 en donde presenta 115 hectáreas (0.04%).

Dentro del grupo Forestal, el tipo de vegetación dominante es el matorral desértico micrófilo con 137, 652 hectáreas (49.60%) para el año 2000, y 137, 522 hectáreas (49.56%) en el año 2008. Le sigue el matorral desértico rosetófilo con 100, 766 hectáreas (36.31%) en el año 2000 y 100, 746 para el año 2008.

En el grupo No forestal, el área agrícola presenta una superficie de 3, 362 hectáreas en el año 2000, lo que representa 1.21%; mientras que para el año 2008, ocupa una superficie de 3, 432 hectáreas que representan el 1.24%. Le sigue en importancia el pastizal inducido, con una superficie que va de 2, 225 hectáreas (0.80%) en el año 2000 a 2, 382 hectáreas (0.86%) en el año 2008.

A continuación se presentan los siguientes mapas en donde podremos observar los grupos Forestal y No Forestal en los años 2000, 2005 y 2008 (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 de la reserva.

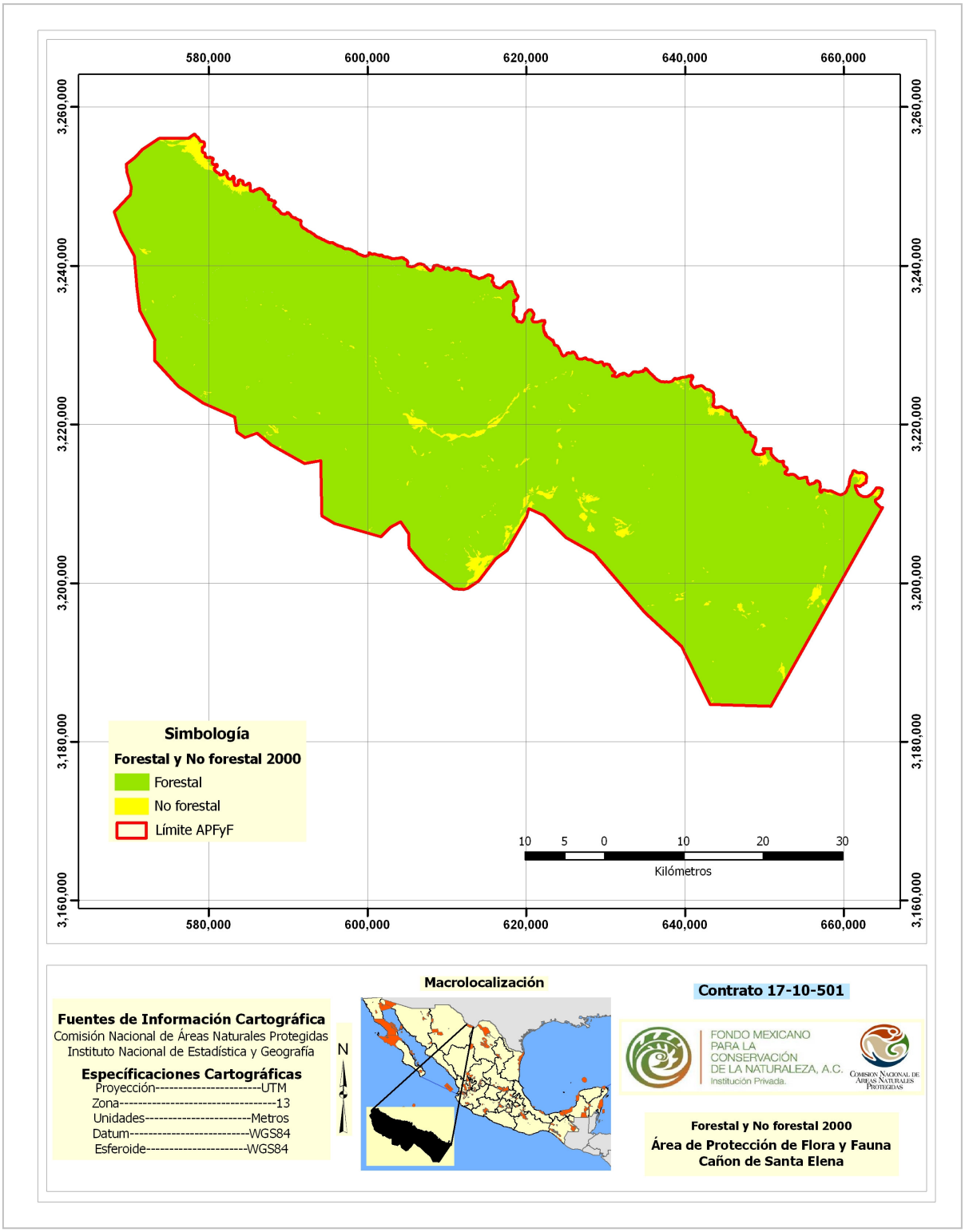


Figura 6.- Grupos Forestal-No Forestal años 2000

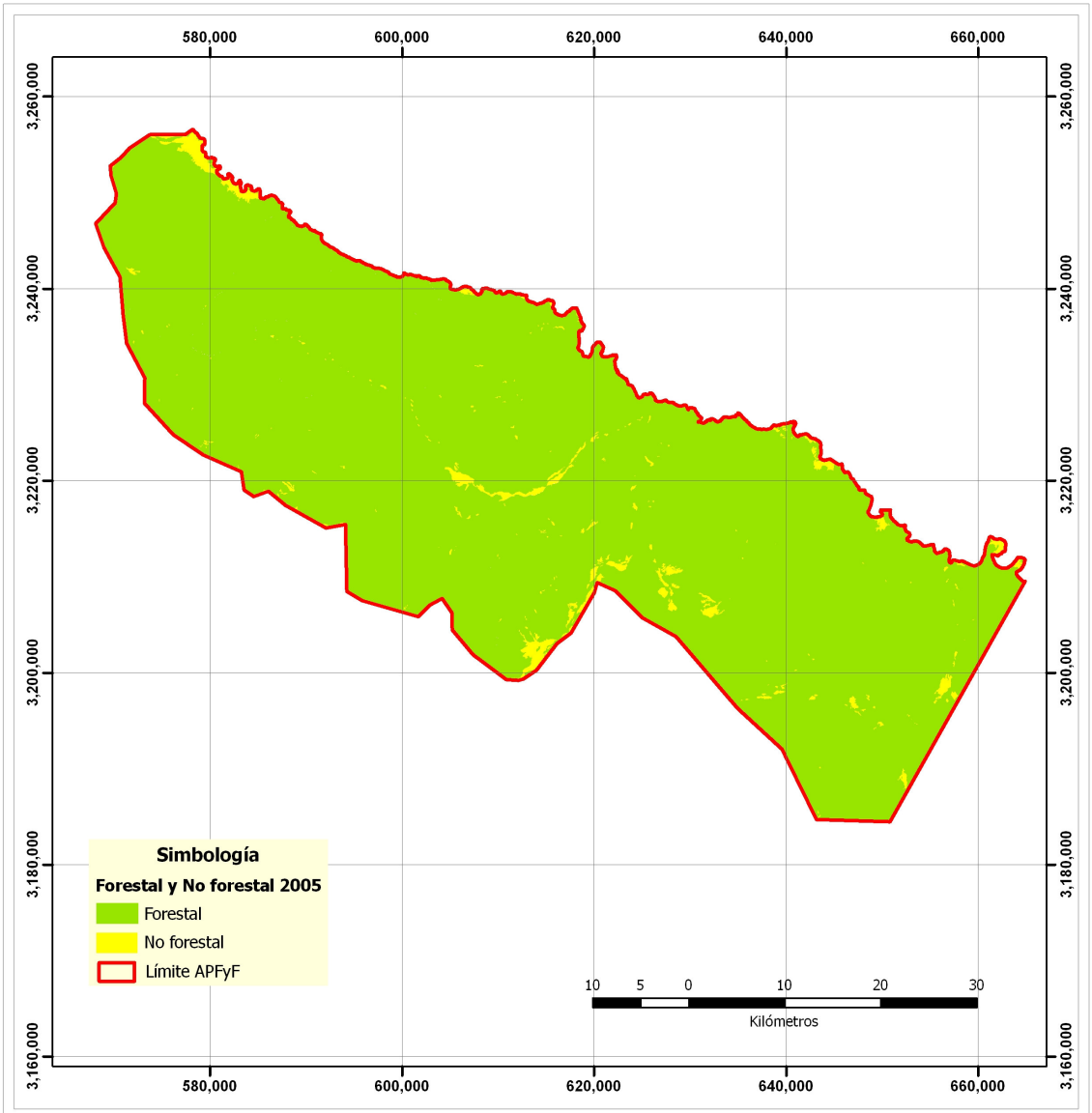


Figura 7.- Grupos Forestal-No Forestal años 2005

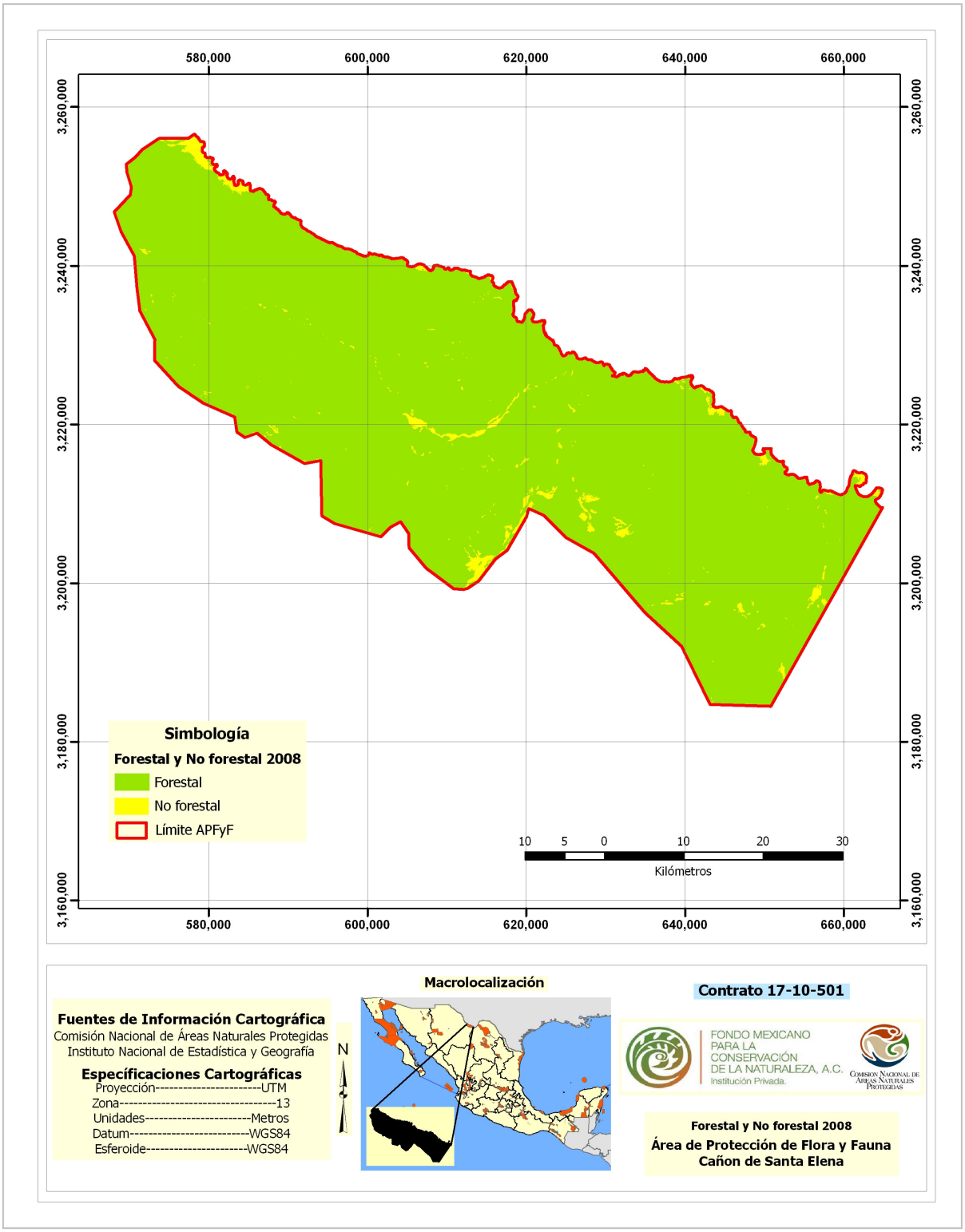


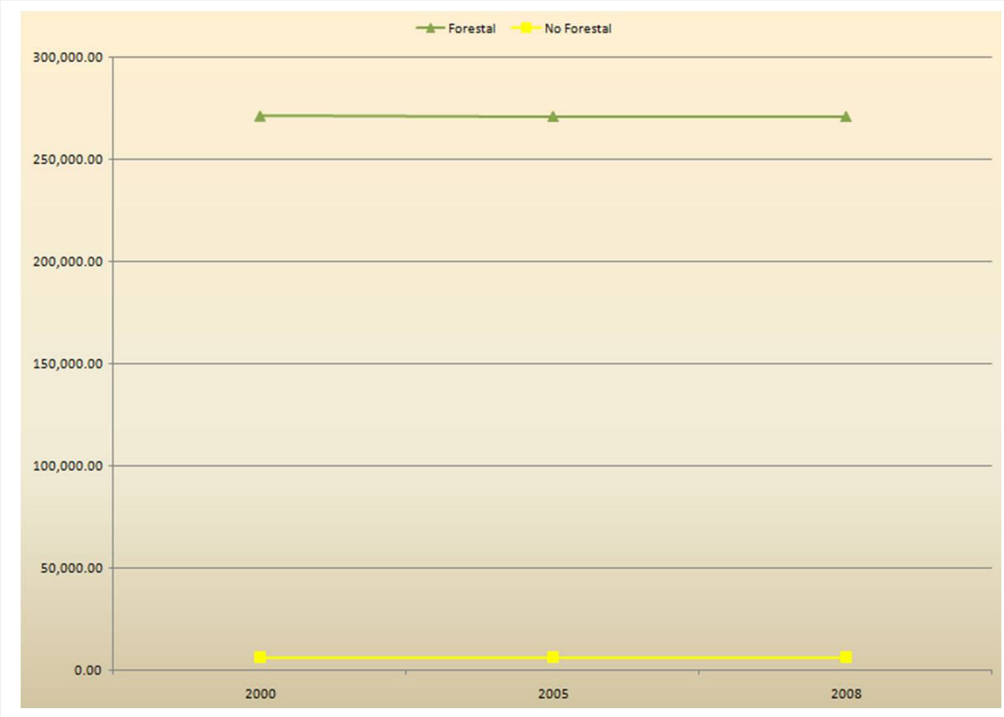
Figura 8.- Grupos Forestal-No Forestal años 2008

La siguiente tabla (4) muestra la superficie de los grupos Forestal y No forestal para los años 2000, 2005 y 2008; y es representada en la figura 9. En la figura se observa que en el periodo de 8 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	271, 437	5, 978
2005	271, 283	6, 125
2008	271, 193	6, 204

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, 2008 (Fig. 10, 11 y 12).

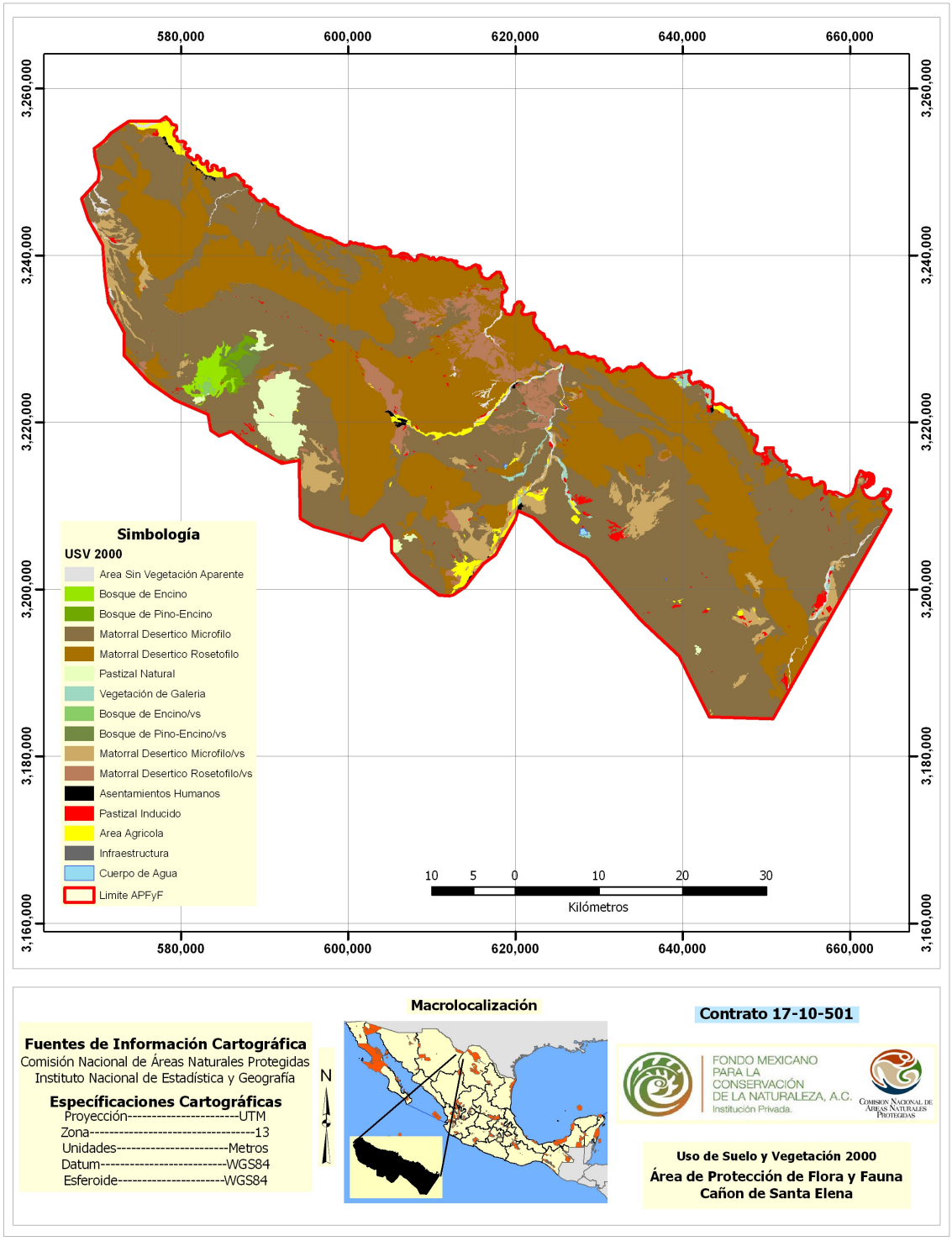


Figura 10- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen Landsat ETM 2000

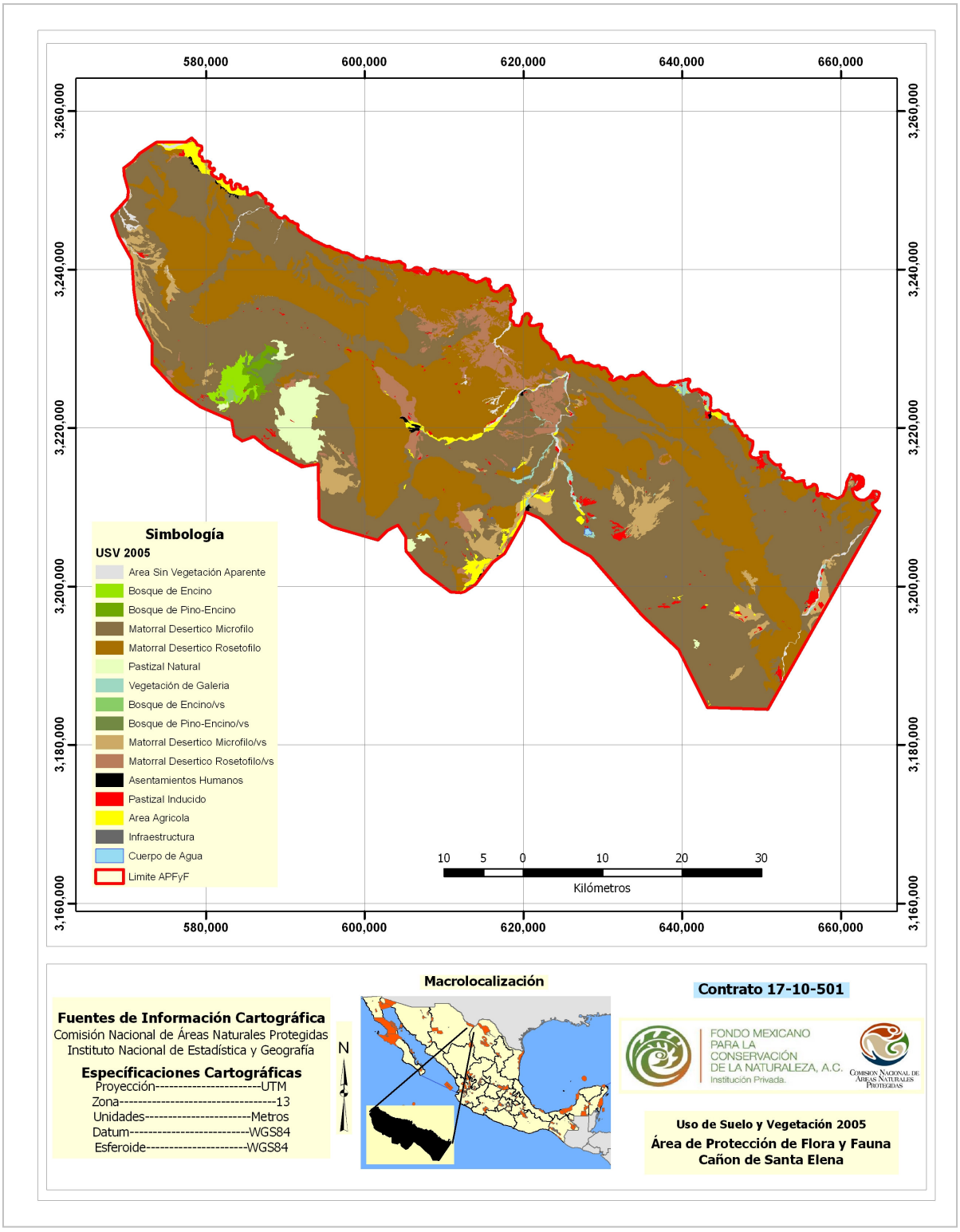


Figura 11.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2005

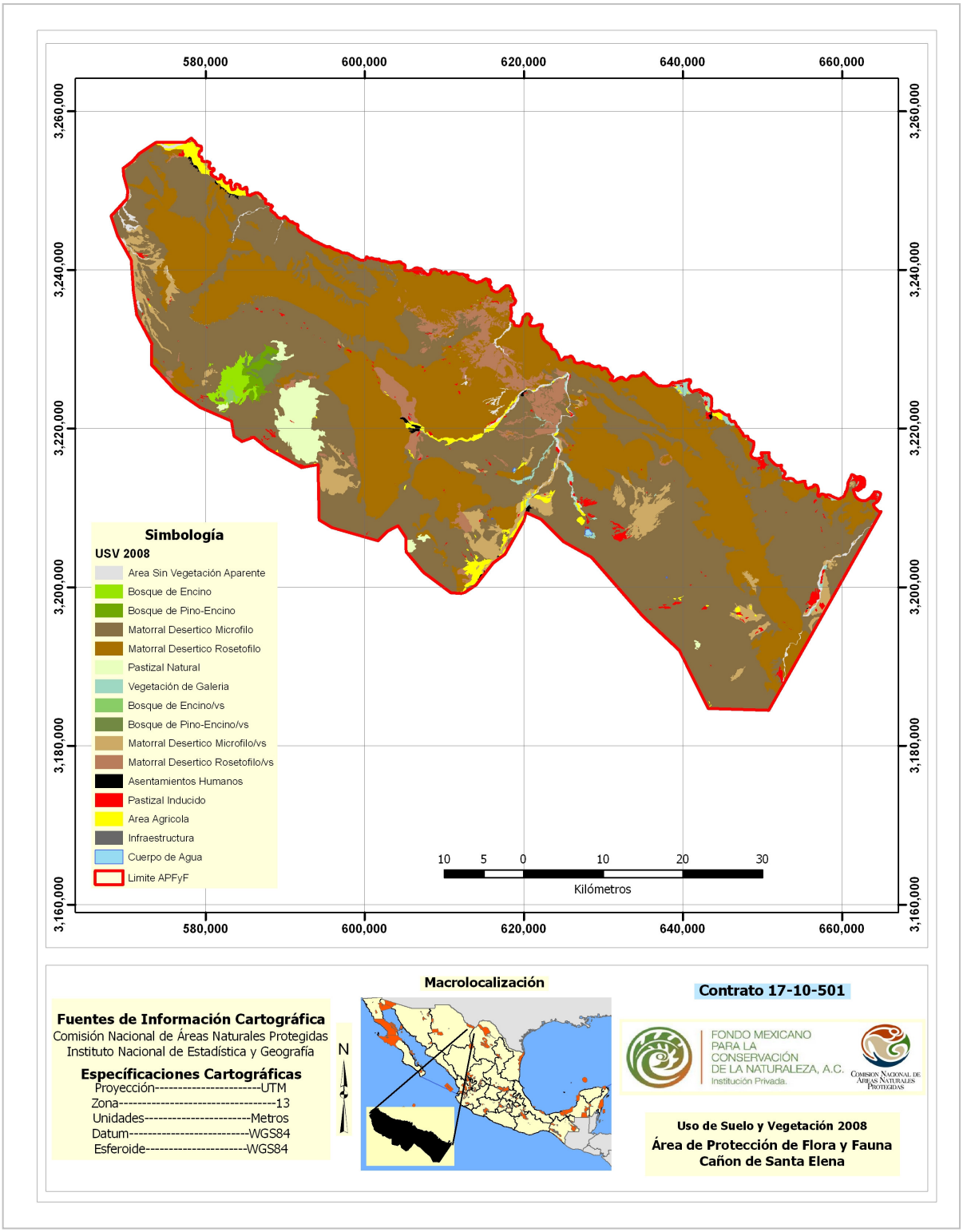


Figura 12.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2008

Áreas de Cambio

Con la elaboración de matrices de cambio se obtuvo la superficie transformada de entre las distintas categorías para los periodos 2000- 2005 y 2005-2008. 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 13).

Matriz de Cambio 2000 - 2005

La tabla (5) muestra los cambios ocurridos entre el periodo 2000-2005, se aprecia que en toda al área las transformaciones que se presentan son por deforestación en mayor medida, así como cambios en el nivel de los cuerpos de agua aunque este no es representativo

Las clases que presentaron deforestación son cinco y, en todos los casos hubo prácticas de desmonte con fines de introducción agrícola y de pastizal inducido. La clase que más superficie perdió es matorral desértico micrófilo con 81 Ha, mientras que la misma clase pero con vegetación secundaria perdió 35 hectáreas. La vegetación de galería tuvo una pérdida de 17 Ha debido a procesos de deforestación y 6Ha debido al cambio en el nivel de los cuerpos de agua. Finalmente la clase matorral desértico rosetófilo durante este periodo perdió 14 hectáreas.

Matriz de Cambio 2005 - 2008

Durante este periodo los cambios, al igual que en el periodo anterior, prácticamente se presentan como deforestación, aunque además los cambios debidos a la fluctuación del nivel de los cuerpos de agua también se hace presente, lo mismo con la perturbación y con la revegetación aunque ésta última en menor medida.

La Deforestación se presenta en cinco clases, siendo la vegetación de galería aquella que ha perdido más hectáreas con 33. En importancia en cuanto a

pérdida le siguen el matorral desértico micrófilo con 28 Ha, matorral desértico micrófilo con vegetación secundaria con una pérdida de 11 hectáreas, el matorral desértico rosetófilo y las áreas sin vegetación aparente con 6 y 1 hectáreas pérdidas respectivamente.

En cuanto a la perturbación tenemos que el matorral desértico micrófilo presenta este tipo de proceso en 20 hectáreas. Por su parte la vegetación de galería perdió 11 Ha debido al cambio en el nivel de los cuerpos de agua. Finalmente las áreas agrícolas presentaron cierta revegetación con 1 hectárea que paso a ser parte de la clase matorral desértico micrófilo con vegetación secundaria.

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

Matriz de Cambio Cañon de Santa Elena 2000-2005	Area Sin Vegetación Aparente	Bosque de Encino	Bosque de Pino-Encino	Matorral Desertico Microfilo	Matorral Desertico Rosetofilo	Pastizal Natural	Vegetación de Galeria	Bosque de Encino/vs	Bosque de Pino-Encino/vs	Matorral Desertico Microfilo/vs	Matorral Desertico Rosetofilo/vs	Area Agricola	Asentamientos Humanos	Infraestructura	Pastizal Inducido	Cuerpo de Agua	Total 2000
Area Sin Vegetación Aparente	1,875																1,877
Bosque de Encino		1,653															1,653
Bosque de Pino-Encino			1,022														1,022
Matorral Desertico Microfilo				137,571													137,652
Matorral Desertico Rosetofilo					100,752												100,766
Pastizal Natural						4,912											4,912
Vegetación de Galeria							1,657										1,680
Bosque de Encino/vs								198									198
Bosque de Pino-Encino/vs									911								911
Matorral Desertico Microfilo/vs										10,974							11,008
Matorral Desertico Rosetofilo/vs											9,758						9,758
Area Agricola												3,362					3,362
Asentamientos Humanos													386				386
Infraestructura														4			4
Pastizal Inducido												6			2,218	1	2,225
Cuerpo de Agua																97	97
Total 2005	1,875	1,653	1,022	137,571	100,752	4,912	1,657	198	911	10,974	9,758	3,418	386	4	2,317	103	277,512

Tabla 6.- Matriz de transición para el periodo 2005-2008

Matriz de Cambio Cañon de Santa Elena 2005-2008	Area Sin Vegetación Aparente	Bosque de Encino	Bosque de Pino-Encino	Matorral Desertico Microfilo	Matorral Desertico Rosetofilo	Pastizal Natural	Vegetación de Galeria	Bosque de Encino/vs	Bosque de Pino-Encino/vs	Matorral Desertico Microfilo/vs	Matorral Desertico Rosetofilo/vs	Area Agricola	Asentamientos Humanos	Infraestructura	Pastizal Inducido	Cuerpo de Agua	Total 2005
Area Sin Vegetación Aparente	1,874																1,874
Bosque de Encino		1,653															1,653
Bosque de Pino-Encino			1,022														1,022
Matorral Desertico Microfilo				137,522													137,522
Matorral Desertico Rosetofilo					100,746												100,746
Pastizal Natural						4,912											4,912
Vegetación de Galeria							1,612										1,612
Bosque de Encino/vs								198									198
Bosque de Pino-Encino/vs									911								911
Matorral Desertico Microfilo/vs										10,962							10,974
Matorral Desertico Rosetofilo/vs											9,758						9,758
Area Agricola	1			20								3,417					3,418
Asentamientos Humanos				1	6		4			3	8		386		2,315	1	386
Infraestructura														4			4
Pastizal Inducido							29								2,315	1	2,382
Cuerpo de Agua							11									102	115
Total 2008	1,874	1,653	1,022	137,522	100,746	4,912	1,612	198	911	10,983	9,758	3,432	386	4	2,382	103	277,512

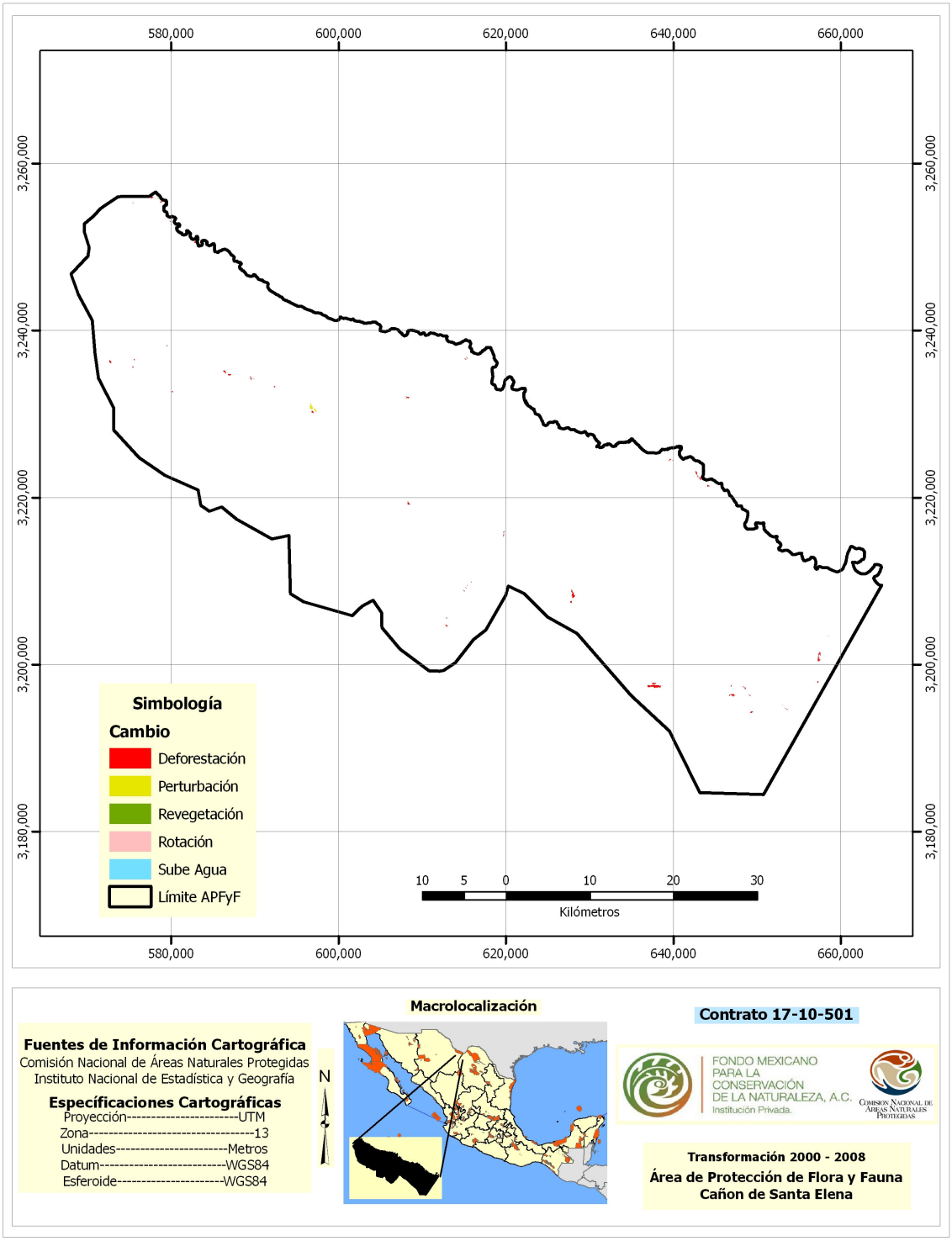


Figura 13.- Áreas de Cambio en el periodo 2000-2008

Durante el periodo 2000-2005, los cambios se deben principalmente a deforestación, siendo el tipo de vegetación más afectado, el matorral desértico micrófilo con un total de 81 hectáreas, que fueron impactadas directamente por las actividades agrícolas y en mayor medida por la introducción de pastizal inducido. Lo mismo sucede con el matorral desértico micrófilo con vegetación secundaria aunque en este caso las áreas agrícolas son las que más hectáreas le restaron con un total de 35 ha. La superficie total transformada durante este periodo, es de 154 hectáreas (tabla 7).

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

Matriz de Cambio Cañon de Santa Elena 2000-2005	Area Agricola	Asentamientos Humanos	Infraestructura	Pastizal Inducido	Cuerpo de Agua
Area Sin Vegetación Aparente	-2				
Bosque de Encino					
Bosque de Pino-Encino					
Matorral Desertico Microfilo	-3			-78	
Matorral Desertico Rosetofilo	-6			-8	
Pastizal Natural					
Vegetación de Galeria	-13			-4	-6
Bosque de Encino/vs					
Bosque de Pino-Encino/vs					
Matorral Desertico Microfilo/vs	-26			-9	
Matorral Desertico Rosetofilo/vs					
Subtotal	-50	0	0	-98	-6
Total de cambio en el periodo HA	-154				
Total por año HA	-31				

Para el periodo comprendido del año 2005 a 2008, los pastizales inducidos son los que aumentaron su superficie en mayor medida transformado en total 66 hectáreas a diferentes clases forestales, siendo la vegetación de galería la más representativa con 33 hectáreas (deforestación) y 11 ha por cambio en el nivel de los cuerpos de agua,. Por su parte el matorral desértico micrófilo resultó afectado en 27 hectáreas. En total el cambio durante este periodo fue de 89 hectáreas (tabla 8).

Tabla 8.- Superficie Forestal afectada por No forestal en el periodo 2005-2008

Matriz de Cambio Cañon de Santa Elena 2005-2008	Area Agricola	Asentamientos Humanos	Infraestructura	Pastizal Inducido	Cuerpo de Agua
Area Sin Vegetación Aparente	-1				
Bosque de Encino					
Bosque de Pino-Encino					
Matorral Desertico Microfilo	0			-27	
Matorral Desertico Rosetofilo				-6	
Pastizal Natural					
Vegetación de Galeria	-4			-29	-11
Bosque de Encino/vs					
Bosque de Pino-Encino/vs					
Matorral Desertico Microfilo/vs	-7			-3	
Matorral Desertico Rosetofilo/vs					
Subtotal	-12	0	0	-66	-11
Total de cambio en el periodo HA	-89				
Total de cambio en el periodo HA	-30				

Tasa de Transformación del Hábitat.

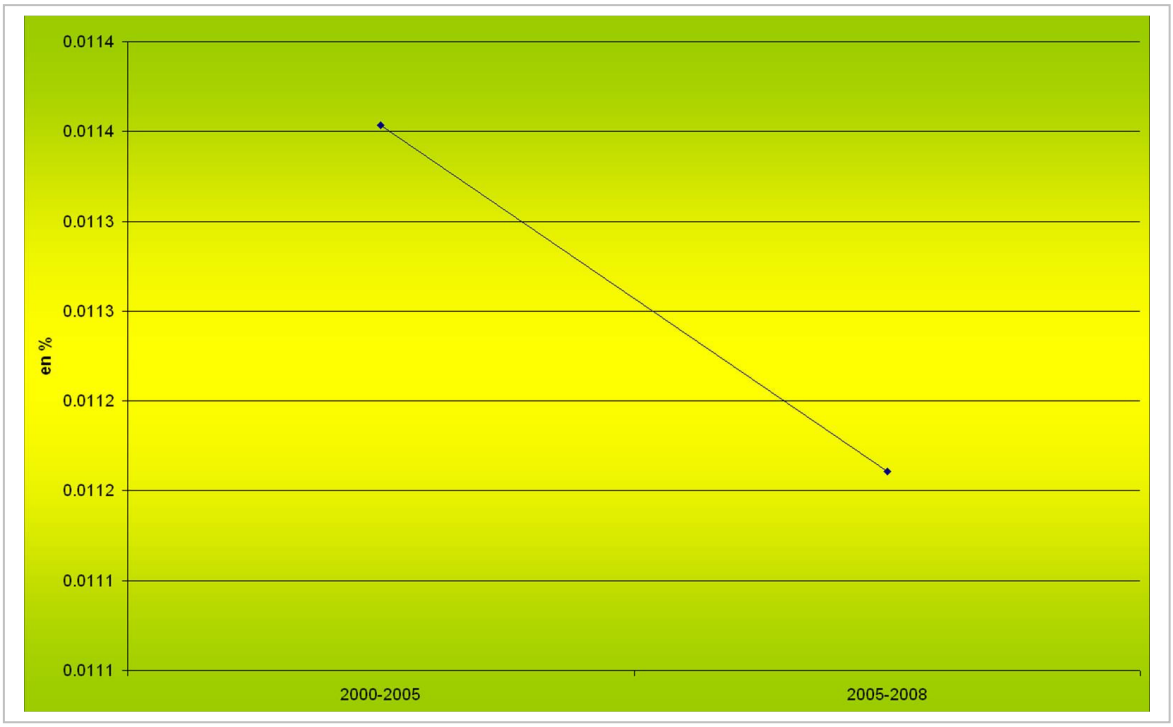
La tasa de transformación en el periodo 2000 – 2008 para el Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena es de -0.0113 que corresponde a una superficie de 244.87 hectáreas (tabla 9). Para el periodo 2000 – 2005, hubo un cambio de 154.05 hectáreas, que corresponde a una tasa del -0.01135. Mientras que para el periodo 2005 – 2009 fueron modificadas 90.82 hectáreas con una tasa de transformación de 0.0112.

Tabla 9.- Tasa de transformación del hábitat

Período	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual
2000-2005	271,437.45	271,283.40	-154.05	5	0.0001135	0.0114
2005-2008	271,283.40	271,192.58	-90.82	3	0.0001116	0.0112
2000-2008	271,437.45	271,192.58	-244.87	8	0.0001128	0.0113

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 Landsat y Spot, el Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena presenta una tasa de transformación de -0.0113%, durante el periodo de ocho años (2000 – 2008), esa tasa corresponde a 244.87 hectáreas que perdió de masa forestal y que fueron ganadas por actividades como agricultura y la introducción de pasto inducido.

En general la cobertura forestal del área tiene una ligera disminución, misma que se presenta en las clases Matorral desértico micrófilo y Matorral desértico micrófilo con vegetación secundaria. Durante el periodo establecido el área de protección tuvo cambios en el nivel de los cuerpos de agua mismos que se presentaron de forma ligera en con paratión con el proceso de deforestación; estas modificaciones afectaron sobre todo a la Vegetación de galería con 17 Ha de su cobertura pérdidas.

De acuerdo con el Programa de Manejo en el Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena, se llevó a cabo una zonificación de su territorio buscando un manejo adecuado de sus recursos. Dentro de las zonas que fueron definidas, la llamada “Zona de Aprovechamiento Controlado” es en donde se presentan la mayoría de los procesos de transformación detectado en el presente trabajo. Por lo tanto, se concluye que es importante y necesario que sean considerados los mapas e información sobre zonificaciones que se tengan en las diferentes áreas protegidas, incluida la que respecta a este trabajo.

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, 1997. Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Cañón de Santa Elena, México, 135 pp.

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 satandard errors of kappa and wighted kappa. Psychologycal 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

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