



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



COMISION NACIONAL DE
ÁREAS NATURALES
PROTEGIDAS

CONTRATO No. 017-10-501

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

Reserva de la Biosfera Calakmul



Nombre del Consultor:

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

Periodo del Reporte:

01 al 30 de Agosto de 2010

Morelia, Michoacán
26 de Octubre 2010

Coordinación

Jorge Carranza Sánchez
Subdirección Encargada de la
Coordinación de Geomática
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



“© CNES .2005-2010, 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>	16
Polígono oficial	16
Imágenes de satélite	16
Modelo Digital de Elevación (MDE)	17
<i>Metodología</i>	19
Diseño de la leyenda	19
Rectificación de imágenes de satélite	21
Clasificación de imágenes de satélite	22
Áreas de cambio	24
Tasa de Transformación	26
<i>Resultados</i>	27
Imágenes de satélite	27
Uso del Suelo y Vegetación	31
Áreas de Cambio	40
Matriz de Cambio 2000 - 2005	40
Matriz de Cambio 2005 - 2010	41
Tasa de Transformación del Hábitat.	46
<i>Conclusiones</i>	47
<i>Bibliografía</i>	48

Introducción

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

En la actualidad son 174 áreas naturales de carácter federal que cubren una superficie de 25, 511, 016.55 Ha (13% 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 (<http://www.conanp.gob.mx/fanp.htm>).

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 2007, el FANP en coordinación con la CONANP llevaron a cabo la contratación del Dr. Víctor Sánchez Cordero para desarrollar el trabajo titulado “La efectividad de las reservas de la biosfera en México para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación”. (Sánchez *et. al.*, 2007). 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 la Reserva de la Biosfera Calakmul (RBC), que representa la mayor Reserva mexicana de bosque tropical, con características de los elementos de su paisaje muy particulares, es una mezcla de selvas altas, medianas y bajas temporalmente inundables. En cuanto a su fauna, cuenta con un número considerable de especies consideradas raras, amenazadas o en peligro de extinción.

La RBC representa uno de los agrupamientos de unidades prehispánicas más sobresalientes del país, comprende al mayor centro urbano del área maya durante el periodo Clásico, entre las que destacan Calakmul, El Ramonal, X'pujil, Becán, Chicanná y Hormiguero; en donde se encuentran más de 6250 estructuras arqueológicas, un elaborado sistema hidráulico y dos tumbas reales.

Estas características culturales, sumadas a su importancia como centro urbano y comercial, hicieron que Calakmul se convirtiera en un importante centro maya del periodo Clásico; por lo que se le considera uno de los archivos prehispánicos más valiosos de Mesoamérica.

En cuanto a los trabajos que se han desarrollado en el área de estudio y que se refieren al tema de cambio de uso del suelo y vegetación, se encuentra el realizado por Díaz, *et al* (2000), quién realizó una evaluación de la transformación de la selva en un período de 1975 a 1990, sin embargo este trabajo se limita sólo a una parte de la RBC que corresponde al ejido Guadalupe. En este trabajo se reporta un patrón de transformación por la influencia de asentamientos humanos y vías de comunicación similar al reportado en otras áreas de selva.

Objetivo

- ◆ Determinar la tasa de transformación del hábitat en la Reserva de la Biosfera Calakmul para el periodo 2000 a 2010.

Área de Estudio

El Área de La Reserva de la Biosfera Calakmul (RBC) se localiza al sureste del estado de Campeche, en el municipio de Calakmul, limita al este con el estado de Quintana Roo y al sur con la República de Guatemala. Las coordenadas extremas en que se ubica la Reserva son los 19°15' y 17°45' latitud norte y 90°10' y 89°15' longitud oeste. Comprende una extensión total de 723,185-12-50 ha, cuenta con dos zonas núcleo, que en su conjunto comprenden un área total de 248,260-50-00; y una zona de amortiguamiento de 474,924-62-50 ha.

De acuerdo al sistema de clasificación de Köppen modificado por García, el clima de la RBC es cálido subhúmedo (Aw), con un claro gradiente de precipitación que va disminuyendo de sur a norte. Como clara consecuencia de esta característica existen tres subtipos climáticos: Aw0, Aw1 y Aw2(x1); el 10% de la Reserva, a lo largo de la frontera de Guatemala, cae dentro de la zona cálida subhúmeda (AW2(x')). El subtipo climático cálido subhúmedo (Aw1) comprende el 60% de la zona central del área de estudio. El subtipo cálido subhúmedo (Aw0) en el norte comprende 30% del área.

De acuerdo al clima predominante se presentan lluvias en el verano, siendo el promedio de precipitación de menos de 60 mm durante el mes más seco del año y con un porcentaje de lluvia invernal de entre 5 y 10.2%. Existe una amplia variación de precipitación en diversas localidades de la Reserva.

La RBC forma parte de la Planicie Yucateca y del Petén, en sus lomeríos alcanza elevaciones de 300 msnm. Los sistemas de drenaje de la región son el cárstico y el fluvial. Los flujos son principalmente hacia el noroeste y oeste (Golfo de México). El área muestra una estructura anticlinal importante en el sur de Campeche, que se precipita al norte. Las rocas a ambos lados del anticlinal se proyectan desde la cima al este hacia el Caribe, y al oeste hacia el Golfo de México. El arqueo de las rocas de esta anticlinal causó la formación de la gran firmeza de la Península de Yucatán; el plegamiento controla mucho del carst subterráneo y el drenaje superficial de la región.

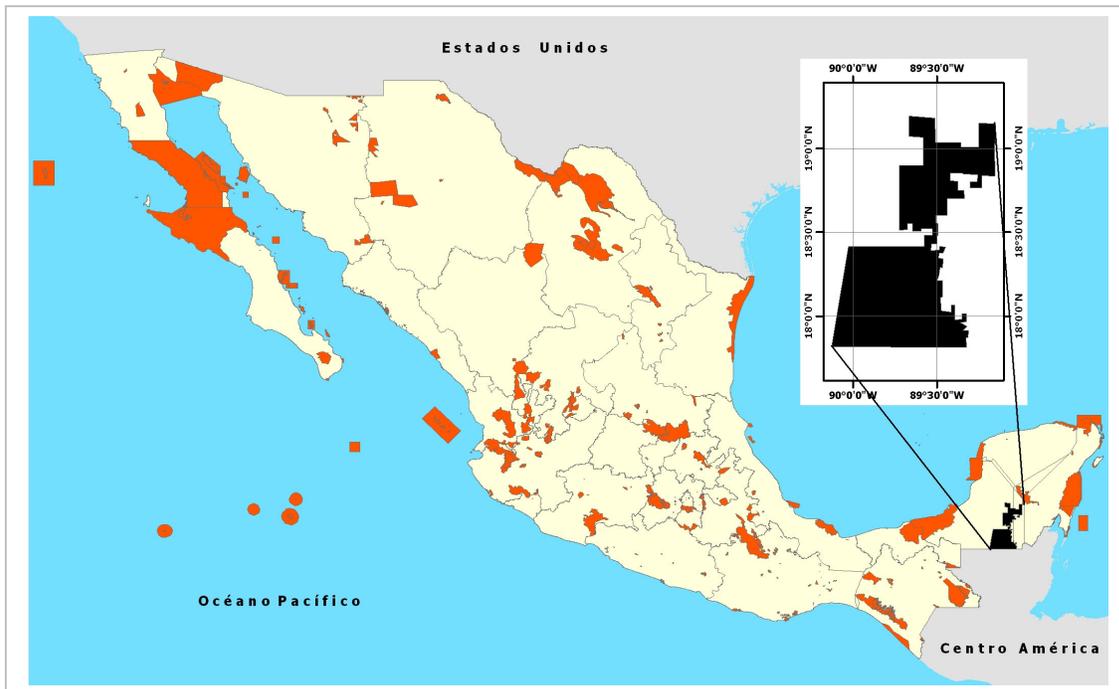


Figura 1. Localización de la Reserva de la Biosfera Calakmul

La Península de Yucatán y el Petén están constituidos por gruesas formaciones de rocas de carbonato cubiertas por varios metros de caliche y suelos delgados que contienen materia orgánica. El proceso primario que actúa sobre los materiales superficiales y subterráneos consiste en la disolución del carbonato de calcio por filtraciones del agua de las lluvias; iones de calcio y bicarbonato son transportados en solución por el agua en la superficie del suelo desplazándose relativamente rápido a través de canales subterráneos.

Este tipo de terreno, en el que predominan la acción química y el drenaje subterráneo más que la erosión mecánica y las corrientes superficiales, se denomina carst. Los “Valles de carso” son comúnmente depresiones cerradas con drenaje subterráneo. Los poljés, grandes depresiones cársticas, cubren decenas de kilómetros cuadrados y tienen laderas empinadas y fondos planos, algunas veces con pequeñas colinas residuales y lagos estacionales o permanentes.

Los suelos que se han desarrollado a partir de estos procesos en la Reserva de Calakmul, pertenecen a dos subunidades de suelos correspondientes a la Asociación X’pujil, (FAO, 1970), sus características son las siguientes:

- Suelos de menos de 200 msnm con textura arcillosa, se desarrollan en paisajes con relieve monticular sobre rocas carbonatadas, cuya edad corresponde al Eoceno y Paleoceno. Los suelos de las laderas y de las partes altas corresponden a una asociación de litosoles y rendzinas. Los litosoles en maya reciben el nombre de tsek’eles y alcanzan una profundidad de hasta 10 cm de espesor y las rendzinas tienen una profundidad de por lo menos 30 cm. Sobre extensas mesetas, se forman suelos profundos sin piedras ni afloramientos rocosos, con un nivel fluctuante de las aguas freáticas, por las infiltraciones que se forman por la disolución del material calizo, corresponden a vertisoles y gleysoles, denominados ak’alches y ya’ax homes respectivamente. En esas partes se forman suelos de 60 cm hasta más de un metro de profundidad, tienen un

horizonte A cuyos colores varían de gris a pardo oscuros; en algunos gleysoles se presenta un horizonte B y los vertisoles generalmente descansan sobre un horizonte C.

- Suelos entre los 200 y 400 msnm, se forman en sitios de mayor altitud, cuyo relieve varía de aplanado, montículos cóncavos y depresiones separadas de colinas bajas. Las rocas que lo sustentan corresponden a margas cretosas blandas y corresponden al Eoceno y Paleoceno. En las depresiones se forman gleysoles de 21 variantes cálcicas, sálicas, sódicas e hísticas. Hacia la periferia se encuentran vertisoles en tanto que en las partes altas y sobre laderas, se desarrollan asociaciones de litosoles y rendzinas. Las rendzinas son suelos con buen drenaje, con microclimas que van de secos a subhúmedos, varían en color, textura y pedregosidad, La formación de los suelos desarrollados en la zona de bajos inundables, se relaciona con el microclima subhúmedo y húmedo, con la cantidad de agua que mantenga el perfil del suelo y con el tiempo que permanezcan inundados. Los suelos desarrollados cerca de las aguadas con una pedogénesis de tipo hidromórfico, forman suelos del tipo de los gleysoles en tanto que la formación de vertisoles, requiere de tener una época de secas.

El material parental de los suelos es la roca caliza, de dureza blanda cuya composición mineralógica es carbonato de calcio (CaCO_3) en más del 60% y muy pobre en hierro, sílice y aluminio. La intemperización de la caliza por efecto de disolución, no produce arcillas nuevas y por ello la formación de suelos profundos es muy baja. El pH de los suelos va de ligeramente alcalino a alcalinos. Los contenidos de materia orgánica son muy altos y la fertilidad del suelo depende de tales contenidos más que por sus contenidos de arcilla. Los contenidos de fósforo y de los micronutrientes de zinc, hierro y cobre, son bajos (Aguilera, 1959; Morales, 1991; Morales, 1993 y Lindeau, 1996).

En la Reserva la hidrología superficial está determinada por la cantidad y distribución de la precipitación pluvial; la evapotranspiración de la vegetación, las masas de agua y los suelos y el drenaje de la superficie. Los torrentes de la lluvia pueden ser lo suficientemente intensos como para transportar agua temporalmente en canales de corriente superficial. La elevación del manto freático se controla por el nivel del mar y su distancia a la costa; toda el agua que se infiltra del suelo se desplaza a lo largo de un declive en dirección del mar contribuyendo eventualmente al flujo de manantiales. El manto de caliche, que cubre la mayor parte de las tierras altas, es lo suficientemente poroso como para aumentar la infiltración y absorber la mayor parte del agua de las lluvias hasta llegar al punto de saturación, en cuyo caso cobra importancia el derrame superficial.

La combinación de diferentes condiciones pudo haber determinado los rasgos hidrológicos de la Reserva, primero los tipos de roca y sedimento presentes; segundo, las perturbaciones de la corteza terrestre ocurridas en la historia geológica, particularmente plegamientos, fracturas y alzamientos; tercero, los ciclos y tendencias a largo plazo de cambios en el clima y nivel del mar y cómo afectaron los periodos estacionales de humedad y sequía; cuarto, las condiciones biosféricas y las respuestas a los cambios citados; y quinto, el hecho de que el drenaje subterráneo normal y el de tormentas en la superficie del área se desplace hacia el noroeste y oeste (Golfo de México) o hacia la Reserva.

En cuanto a su biogeografía, la Reserva se encuentra bajo la influencia directa de dos subprovincias bióticas: la Yucateca (PBY) y la del Petén (PBP). La primera de ellas estampa el endemismo cálido subxérico a la fauna de Calakmul, mientras que las formas cálido subhúmedas o cálido húmedas son consecuencia de la influencia de la subprovincia PBP.

En la Provincia Biótica Yucateca, existen elementos endémicos característicos en casi todos los órdenes de seres vivos que dan a la flora y fauna de las selvas decíduas, bosques espinosos, sabanas, dunas costeras y matorrales halófitos con una composición especial. Por su escasa edad como territorio emergido (3,000,000 años), su relativa monotonía geológica y ausencia de relieve, la zona de Calakmul no presenta gran variedad de nichos ecológicos ni diversidad de ambientes terrestres. Su capacidad para refugiar formas de vida en épocas climáticas adversas es muy limitada por lo que entre el Mioceno y el presente, su función ha sido la de un corredor biológico que permite a las formas subxéricas del norte de Yucatán (provincia Biótica Yucateca) y las especies de climas subhúmedos y húmedos del refugio istmo, del Petén y de los montes mayas desplazarse hacia el sur y hacia el norte en las épocas que le son propicias.

La RBC presenta características geológicas climáticas, edáficas y de vegetación particulares conformando una mezcla de selvas altas y medianas con selvas bajas temporalmente inundables y vegetación acuática, de la cual existe cierta similitud con otras áreas geográficas vecinas con el Petén, como el caso de Guatemala y Belice.

Las principales asociaciones vegetales de la RBC según Lundell (1934), corresponden al zapotal y al ramonal, de acuerdo con la clasificación de Miranda y Hernández X. (1963) y con base en las colectas botánicas y observaciones realizadas en el campo, se describen a continuación los tipos de vegetación presentes en la Reserva así como su asociación con los diferentes tipos de suelo.

La vegetación que se encuentra en la Reserva, de acuerdo El Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Calakmul son: Selva alta perennifolia, Selva alta subperennifolia, Selva mediana subperennifolia, selva baja subperennifolia inundable, Selva baja subperennifolia, selva baja caducifolia, Vegetación secundaria, así como agrupaciones de hidrófilas y vegetación herbácea y arbística en áreas pantanosas.

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 contó con imágenes de satélite Landsat ETM del año 2000 para el área de estudio (Tabla 1).

Tabla 1.- Imágenes Landsat ETM para la Reserva de la Biosfera Calakmul

Satélite	Path	Row	Fecha	Resolución (metros)	Número de bandas
ETM	20	47	27-mar-00	30	6
				15	1

Se tomó como base el polígono del ANP Reserva de la Biosfera Sierra La Sepultura, para conocer cuantas imágenes de satélite SPOT serían necesarias para este trabajo, mismas que fueron solicitadas a la Estación de Recepción México de la constelación SPOT (ERMEXS) a través de la Subdirección de Encargada de la Coordinación de Geomática de la CONANP que es gestor oficial. Un total de 13 imágenes fueron necesarias para el cubrimiento completo del área de estudio (Tabla 2).

Tabla 2.- Imágenes de satélite SPOT para la Reserva de la Biosfera Calakmul

Sensor	K	J	Fecha	Resolución espacial (metros)	Número de bandas	Tipo	Nivel de Procesamiento
SPOT	607	313	05/04/05	10	4	Multiespectral	1A
				2.5	1	Pancromática	1A
SPOT	607	314	15/04/05	10	4	Multiespectral	1A
				2.5	1	Pancromática	1A
SPOT	608	312	17-feb-09	10	4	Multiespectral	1A
				2.5	1	Pancromática	1A
SPOT	608	313	27-feb-05	10	4	Multiespectral	1A
				2.5	1	Pancromática	1A
SPOT	608	314	10-mar05	10	4	Multiespectral	1A
				2.5	1	Pancromática	1A
SPOT	609	312	13-feb-05	10	4	Multiespectral	1A
				2.5	1	Pancromática	1A
SPOT	609	313	23-ene-05	10	4	Multiespectral	1A
				2.5	1	Pancromática	1A
SPOT	609	314	23-ene-05	10	4	Multiespectral	1A
				2.5	1	Pancromática	1A
SPOT	607	314	26/01/010	10	4	Multiespectral	1A
				2.5	1	Pancromática	1A
SPOT	608	312	06-ene-10	10	4	Multiespectral	1A
				2.5	1	Pancromática	1A
SPOT	608	313	19-mar-10	10	4	Multiespectral	1A
				2.5	1	Pancromática	1A
SPOT	608	314	19-mar-10	10	4	Multiespectral	1A
				2.5	1	Pancromática	1A
SPOT	609	314	11-ene-10	10	4	Multiespectral	1A
				2.5	1	Pancromática	1A

Modelo Digital de Elevación (MDE)

La figura 2 muestra el modelo sombreado para el área de la Reserva de la Biosfera Calakmul. El modelo se elaboró a partir del Modelo Digital de Elevación de INEGI escala 1:50, 000, y una resolución de 30m.

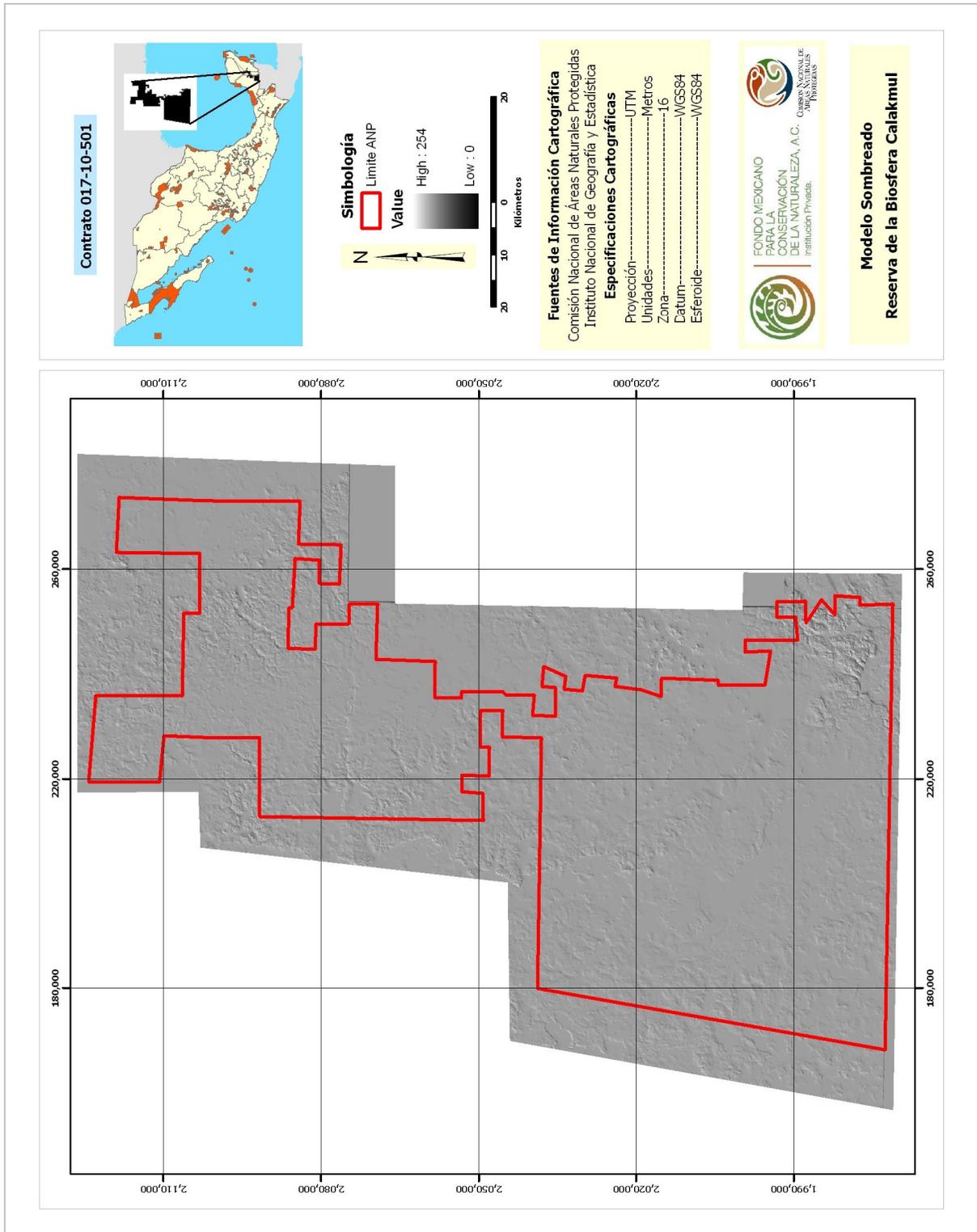


Figura 2.- Modelo Sombreado INEGI, 1:50,000

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 (SEMARNAT-CONANP, 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.

Diseño de la leyenda

La leyenda de los tipos de uso del suelo y vegetación utilizada se diseñó a partir de la cobertura de Uso del Suelo y Vegetación de INEGI serie III y el diccionario de datos correspondiente a uso de suelo y vegetación (INEGI, 2007), la cual sufrió adecuaciones que tienen que ver sobre todo con algunas actividades como la agricultura de riego y temporal, ó el pastizal inducido, que para fines de la leyenda diseñada se manejaran únicamente como “Área agrícola” y “Pastizal Inducido”, asimismo se incluyen las categorías “Asentamiento humano”, “Infraestructura”. Finalmente se adicionó para los casos de vegetación primaria (bosque y selva), la vegetación de tipo secundario.

Las clases utilizadas en la leyenda (figura 3) presentan 5 tipos de vegetación primaria, 3 asociadas a vegetación secundaria, 3 usos del suelo, y cuerpos de agua. Las diferentes clases se describen a continuación:

LEYENDA
Selva Alta Subperennifolia
Selva Mediana Subperennifolia
Selva Mediana Subcaducifolia
Selva Baja Espinosa Subperennifolia
Vegetación Acuática
Selva Alta Subperennifolia/VS
Selva Mediana Subperennifolia/VS
Selva Baja Espinosa Subperennifolia/VS
Área Agrícola
Pastizal
Asentamientos humanos
Cuerpo de Agua

Figura 4. Leyenda

Selva Alta Subperennifolia.- Vegetación arbórea de 30m o más de altura, durante la época seca, del 25% al 50% de los árboles pierden el follaje.

Selva Mediana Subperennifolia.- Comunidad vegetal arbórea de 20 a 30 m de altura. Del 25 al 50% de los árboles pierden el follaje durante la época seca.

Selva Mediaba Subcaducifolia.- Comunidad vegetal arbórea de 15 a 20 m de altura. Del 50 al 75% de los árboles pierden el follaje durante la época seca.

Selva Baja Espinosa.- Comunidad vegetal con dominancia de árboles espinosos, de 4 a 15 m de altura, principalmente en terrenos planos.

Vegetación secundaria.- Comunidades originadas por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original y en otros casos presenta un aspecto y composición florística diferente. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos y en áreas agrícolas abandonadas.

Área Agrícola.- Área en la que el suelo es utilizado para la realización de labores agrícolas o algún tipo de actividad pecuaria.

Pastizal.- Los establecidos por el hombre o áreas agropecuarias en descanso, áreas en recuperación (incendios), o desmontes.

Asentamientos Humanos.- Territorio ocupado por comunidades humanas, localidades, poblaciones, etc.

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 MDE, 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, la cobertura de Uso de Suelo y Vegetación INEGI Serie III y IV, 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 aquella 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 a 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 mm² 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 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
- Perturbación
- Recuperación
- Revegetación
- Crecimiento urbano
- Cambios en el nivel de :
- B** Vegetación conservada sin cambio
- Bp** Vegetación perturbada sin cambio
- A** Usos agropecuarios sin cambio
- O** Otras cubiertas sin cambio

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

Figura 4. Tipo de transformaciones

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

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-16 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 lejano, Infrarrojo cercano y Verde. Donde la variedad de tonalidades en verde muestran a las selvas perennifolias y subperennifolias, las áreas en tonalidades violeta a las selvas subcaducifolias y espinosa, mientras que los tonos rosa intenso muestran las áreas con uso y los asentamientos humanos. (Figura 5).

Por su parte en las imágenes SPOT de los años 2005 y 2010 el falso color es RGB de las bandas 1, 2, 3 y corresponde al verde, rojo e infrarrojo cercano. Este compuesto muestra en diferentes tonos de rojo las cubiertas forestales perennes, mientras que en tonos de verde las cubiertas caducifolias. Por otra parte en tonos de cyan a blanco pero con texturas lisas las áreas con uso agrícola, las áreas desprovistas de vegetación y urbanas (Figuras 6 y 7).

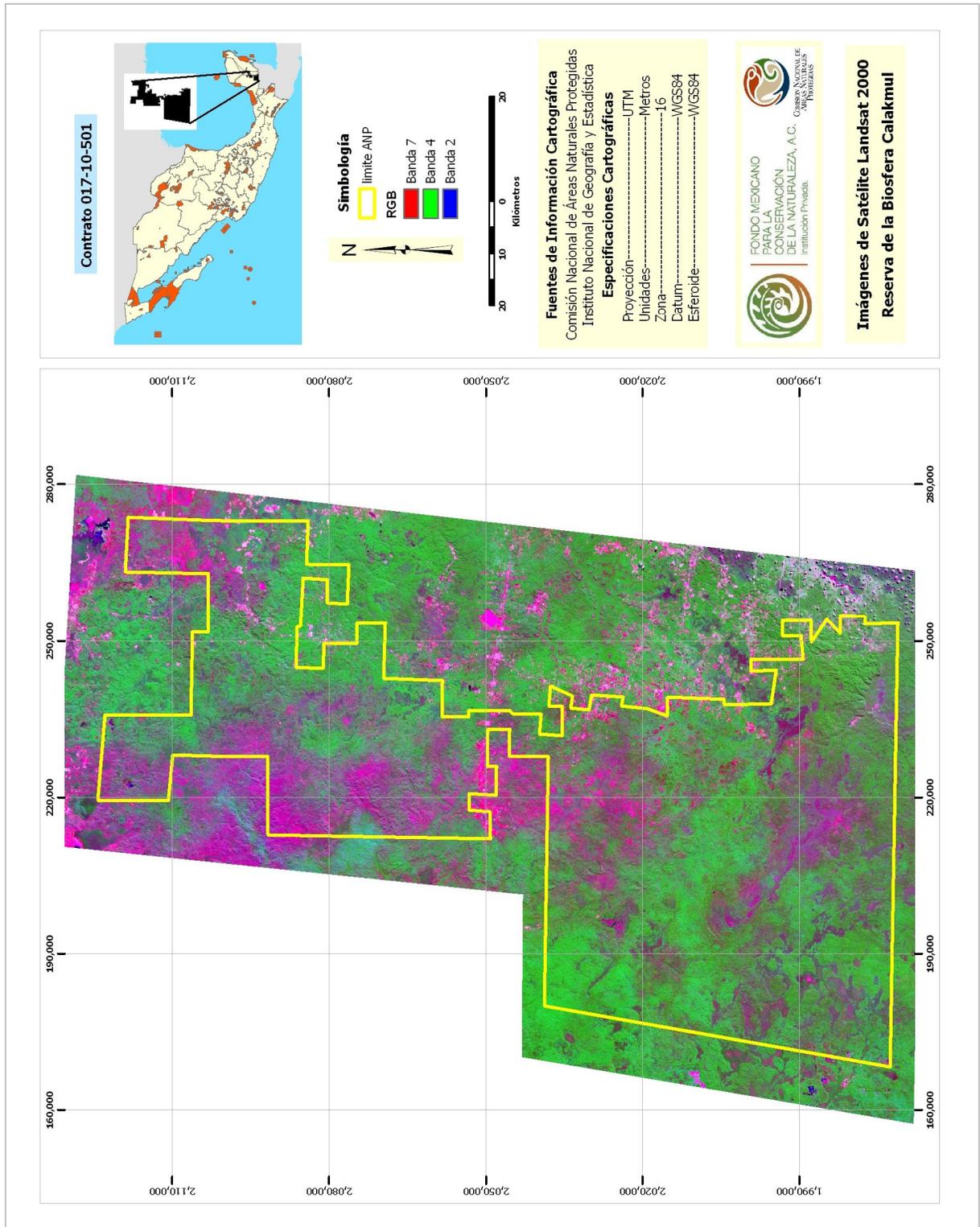


Figura 5.- Imagen de satélite Landsat ETM 2000, falso color RGB 7 4 2

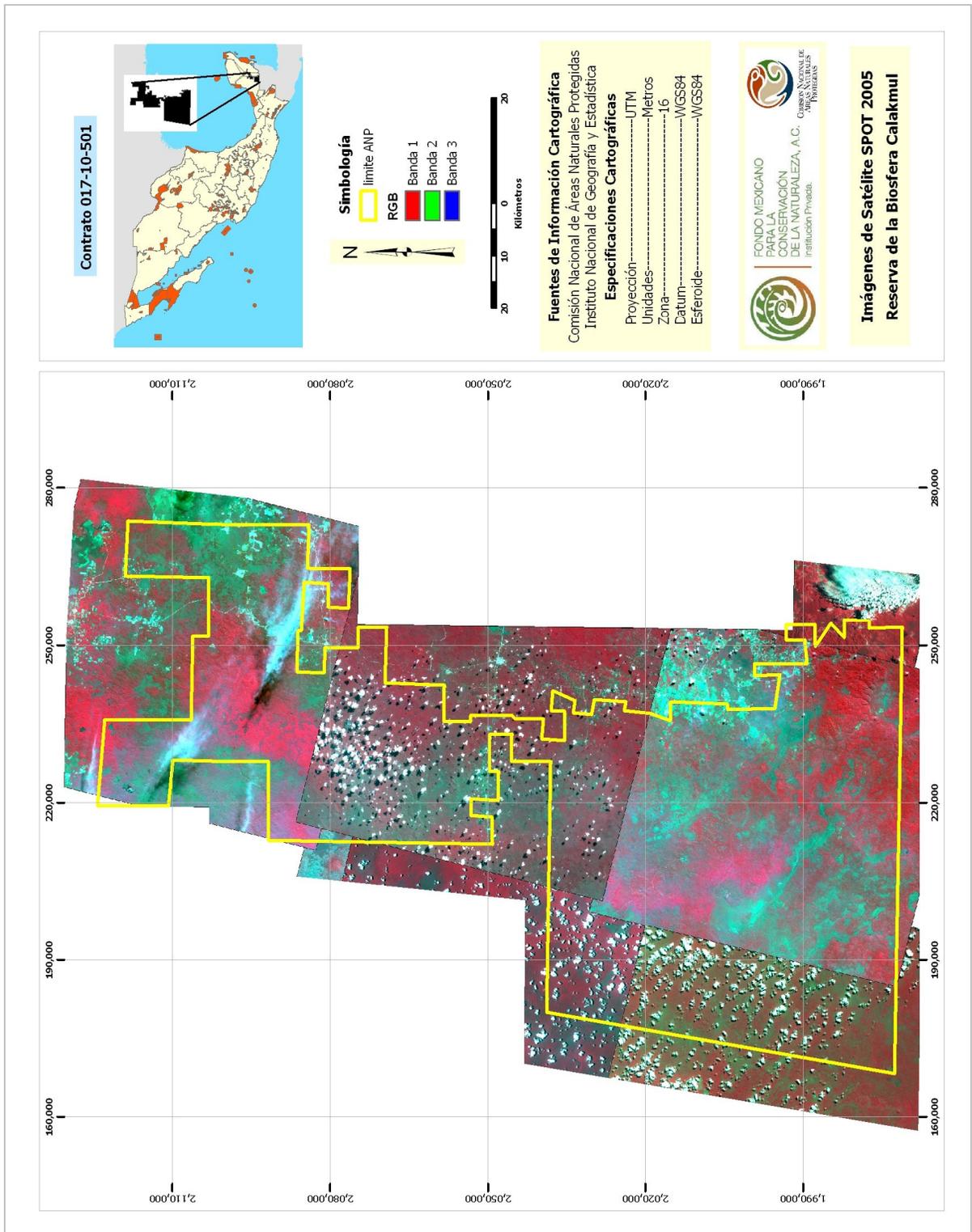


Figura 6.- Imágenes de Satélite SPOT 2005, falso color RGB 1 2 3

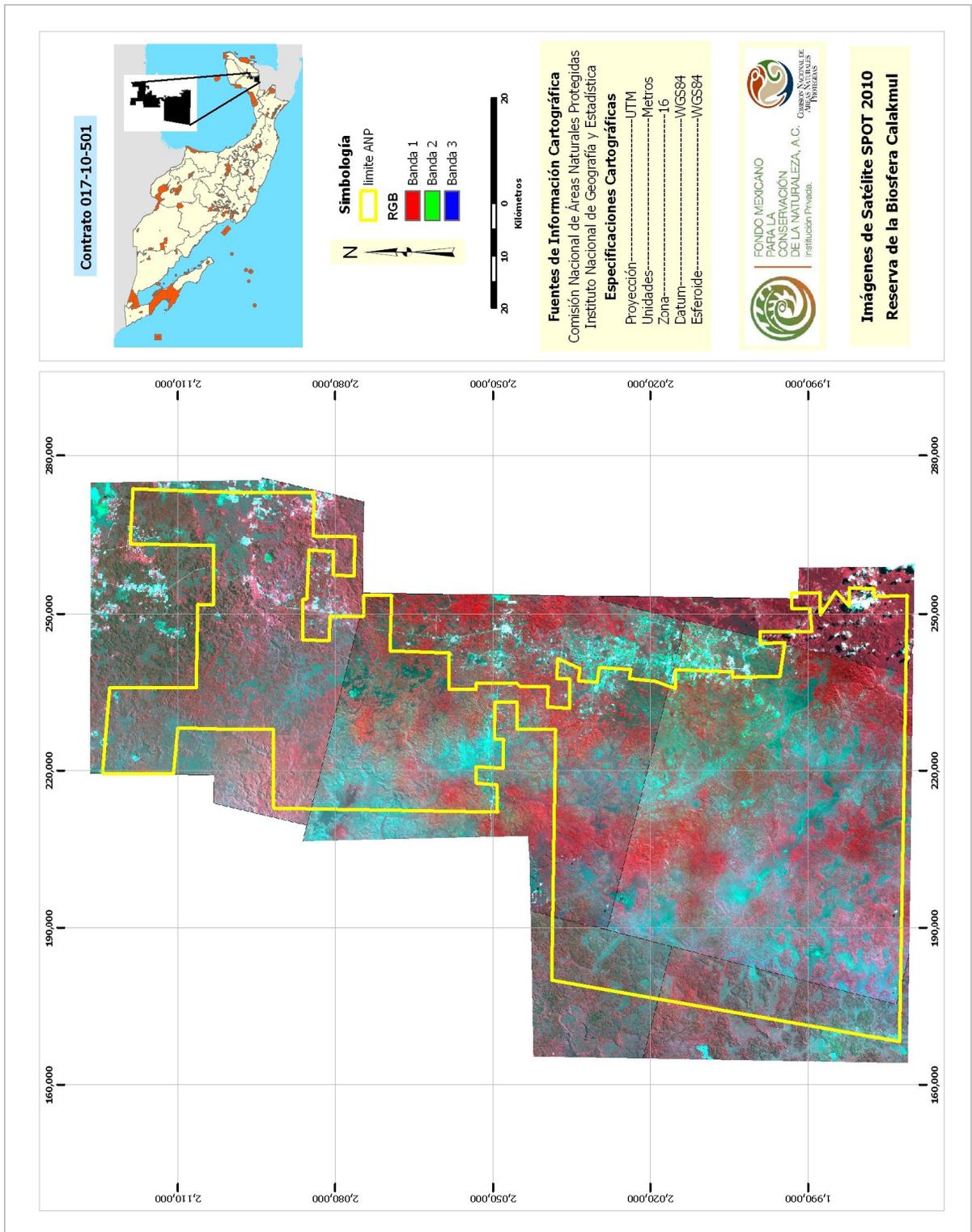


Figura 7.- Imágenes de Satélite SPOT 2010, falso color RGB 1 2 3

Uso del Suelo y Vegetación

Fue calculada la superficie por tipo de uso del suelo y vegetación para la Reserva de la Biosfera Calakmul, a continuación se muestra en la tabla 3 los resultados obtenidos.

Tabla 3.- Superficie de Uso del Suelo y Vegetación para los años 2000, 2005 y 2010

Cubierta del Suelo Reserva de la Biosfera Calakmul						
Uso de Suelo y Vegetación	2000	%	2005	%	2010	%
FORESTAL						
Selva Alta Subperennifolia	52,644	7.28	52,569	7.27	52,362	7.24
Selva Baja Espinosa Subperennifolia	95,028	13.15	95,028	13.15	94,995	13.14
Selva Mediana Subcaducifolia	56,654	7.84	56,654	7.84	56,654	7.84
Selva Mediana Subperennifolia	280,125	38.76	279,918	38.73	279,796	38.71
Vegetacion Acuatica	26	0.00	26	0.00	26	0.00
Selva Alta Subperennifolia/VS	17,435	2.41	17,123	2.37	17,033	2.36
Selva Baja Espinosa Subperennifolia/VS	31,967	4.42	31,749	4.39	31,416	4.35
Selva Mediana Subperennifolia/VS	159,630	22.09	158,696	21.96	159,097	22.01
Subtotal	693,511	95.96	691,763	95.71	691,378	95.66
NO FORESTAL						
Area Agricola	22,926	3.17	24,292	3.36	25,060	3.47
Asentamientos humanos	195	0.03	195	0.03	195	0.03
Pastizal	5,624	0.78	6,006	0.83	5,673	0.78
Subtotal	28,745	3.98	30,493	4.22	30,928	4.28
OTROS						
Cuerpo de Agua	479	0.07	479	0.07	428	0.06
Subtotal	479	0.07	479	0.07	428	0.06
Total	722,735	100	722,735	100	722,735	100

Al inicio del periodo (año 2000) el grupo Forestal presento una superficie de 693, 511 ha que corresponde al 95. 96% del total del área. Estas categorías presentan una disminución en los años siguientes teniendo así 691, 763 ha (95.71%) para el año 2005 y, 691, 378 ha (95.65%) en el año 2010.

Respecto del grupo No Forestal, durante el año 2000 se presentó una superficie de 28, 745 hectáreas (3.98%) la cual aumento a 30, 928 ha hacia el año 2010; cifra que corresponde al 4.28% respectivamente. Los cuerpos de agua presentan una superficie de 479 hectáreas, la cual se mantuvo durante todo el periodo.

Dentro del grupo Forestal el tipo de vegetación dominante es la selva mediana subperennifolia, esta clase cubre una superficie de 280, 125 hectáreas (38.76%) para el año 2000, y de 279, 796 hectáreas (38.71%) en el año 2010. Le sigue la selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria con una superficie de 159, 630 hectáreas (22.09%) en el año 2000 y, 159, 097 hectáreas (22.01%) para el año 2010.

En el grupo No forestal, la clase área agrícola es la que cubre mayor superficie en el área con 22, 926 hectáreas en el año 2000, lo que representa el 3.17% de la superficie total de la Reserva; y 25, 060 hectáreas (3.47%) al final del periodo (2010). Por su parte la clase pastizal presenta una superficie de 5, 624 ha (0.78%) para el año 2000 y de 5, 673 hectáreas (0.78%) en el año 2010.

A continuación se presentan los mapas en donde se observan los grupos Forestal y No Forestal en los años 2000, 2005 y 2010 (Figuras 8, 9 y 10); en ellos el color verde representa a las áreas forestales, mientras que el color amarillo corresponde a las áreas no forestales.

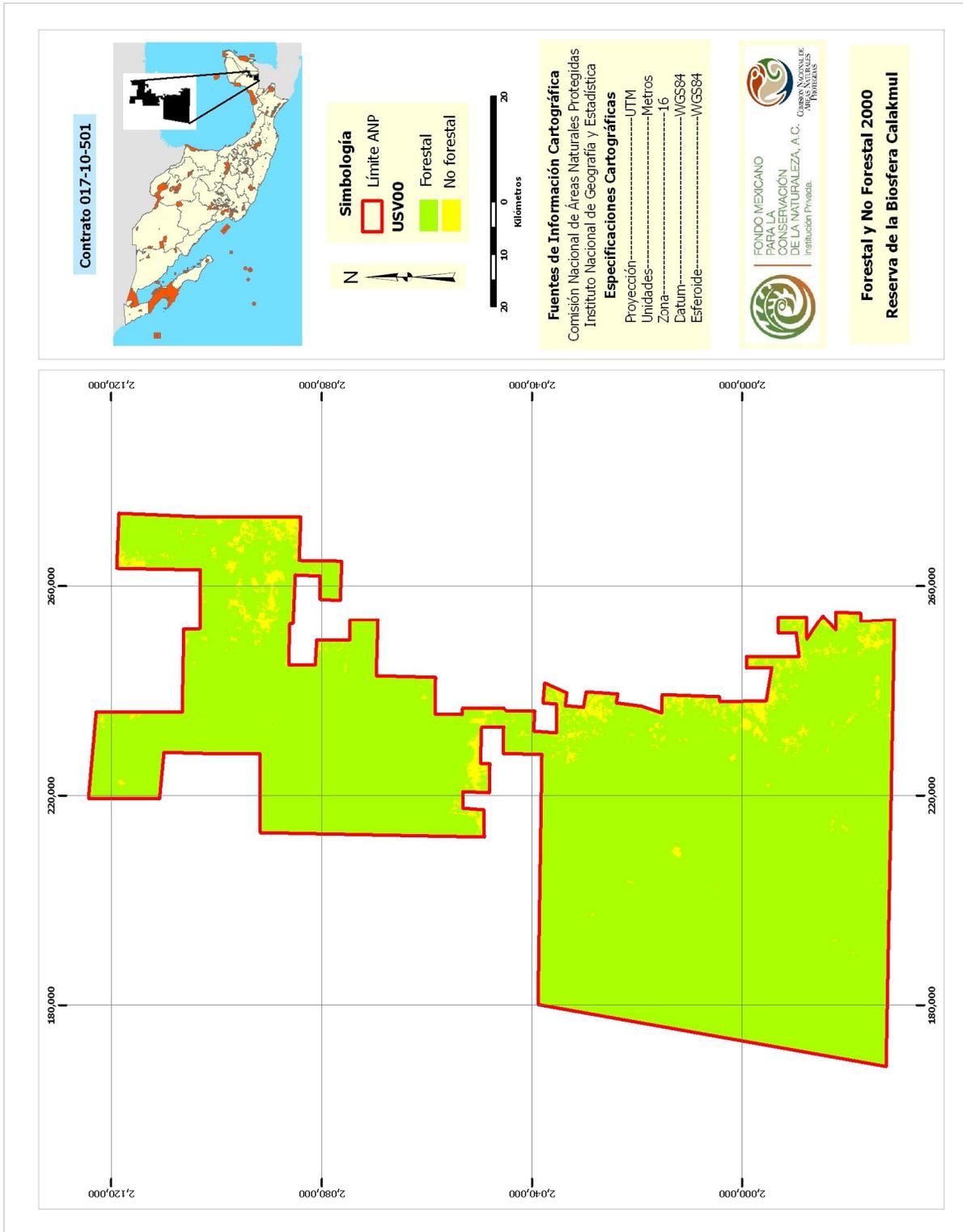


Figura 8.- Grupos Forestal-No Forestal año 2000

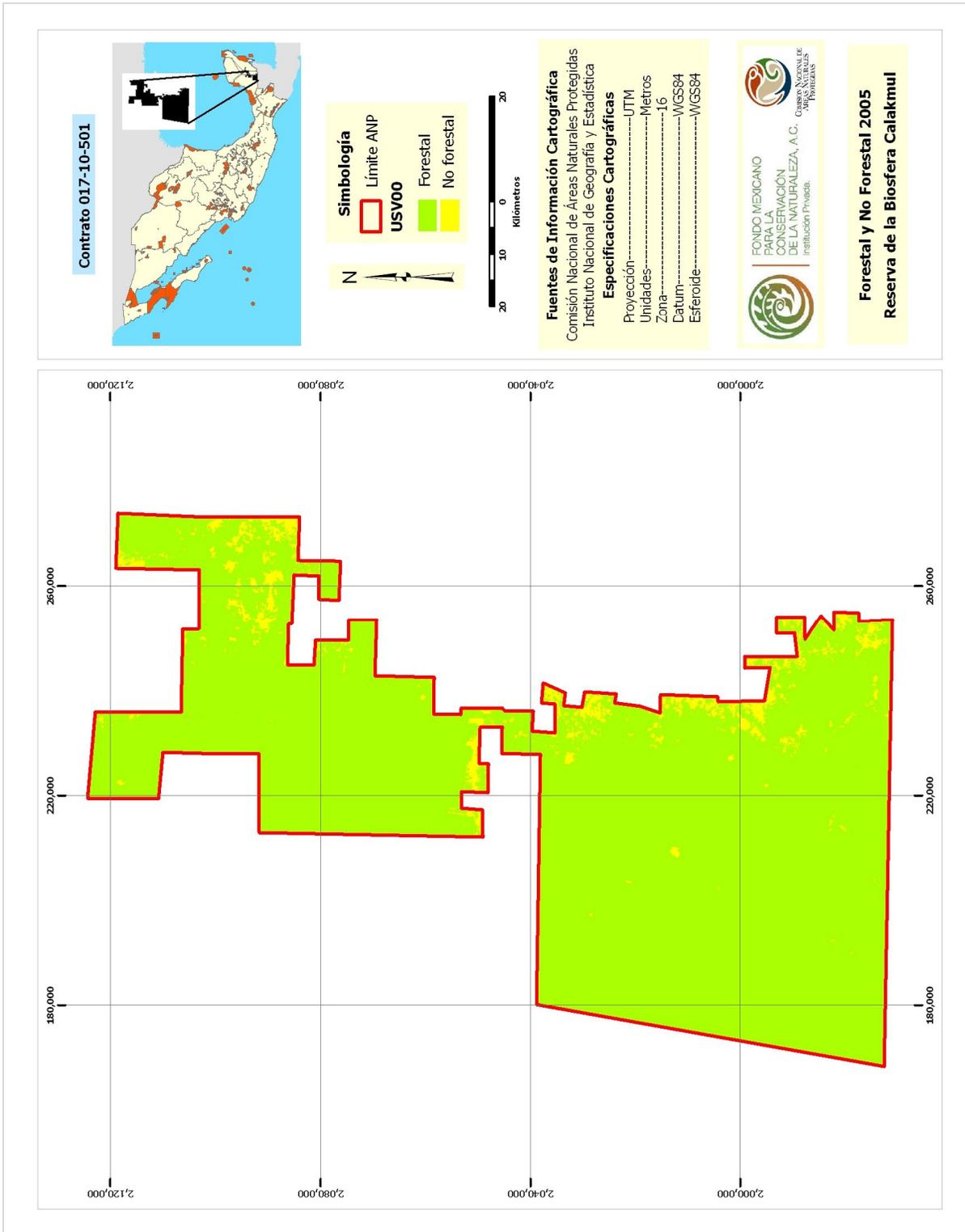


Figura 9.- Grupos Forestal-No Forestal año 2005

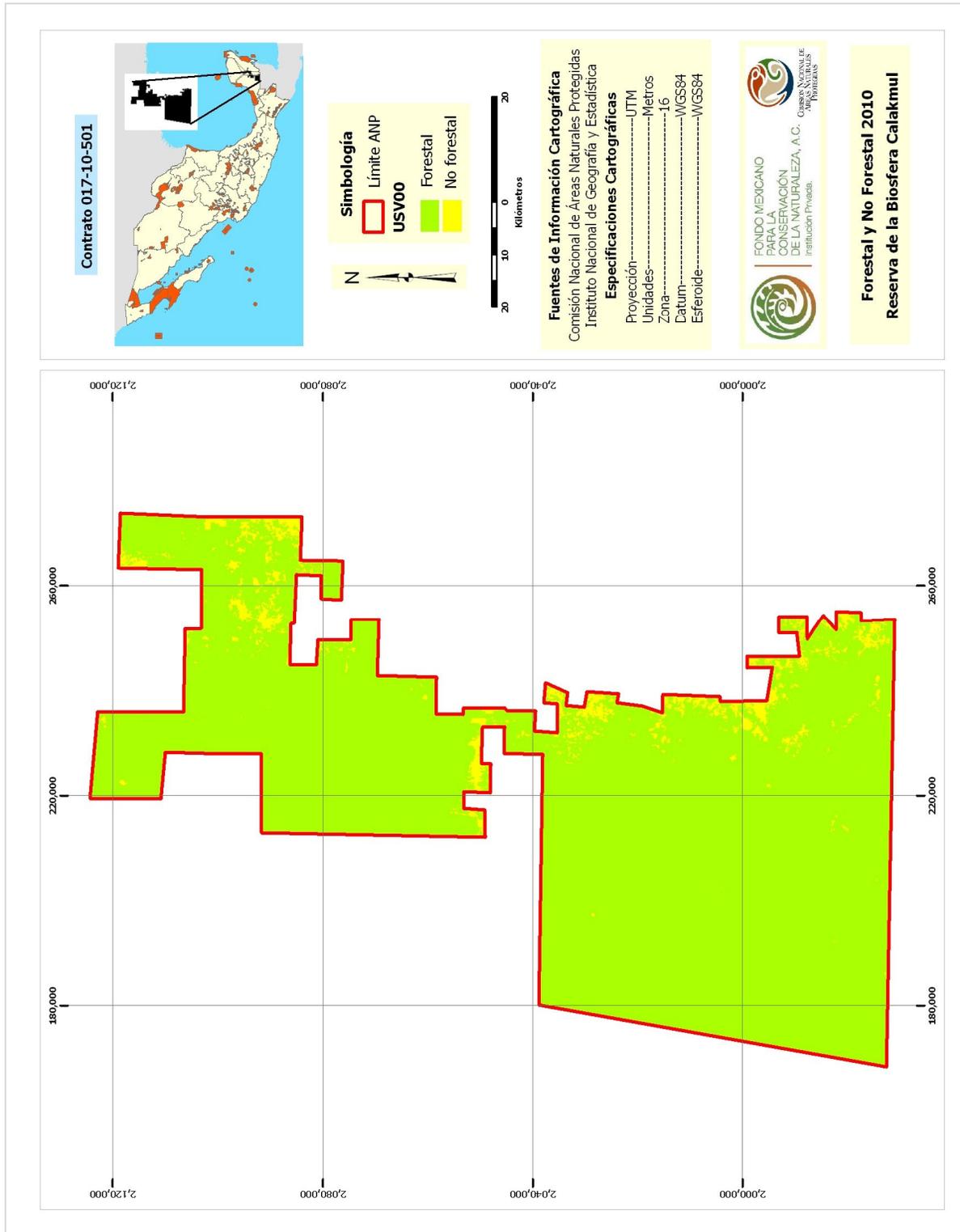


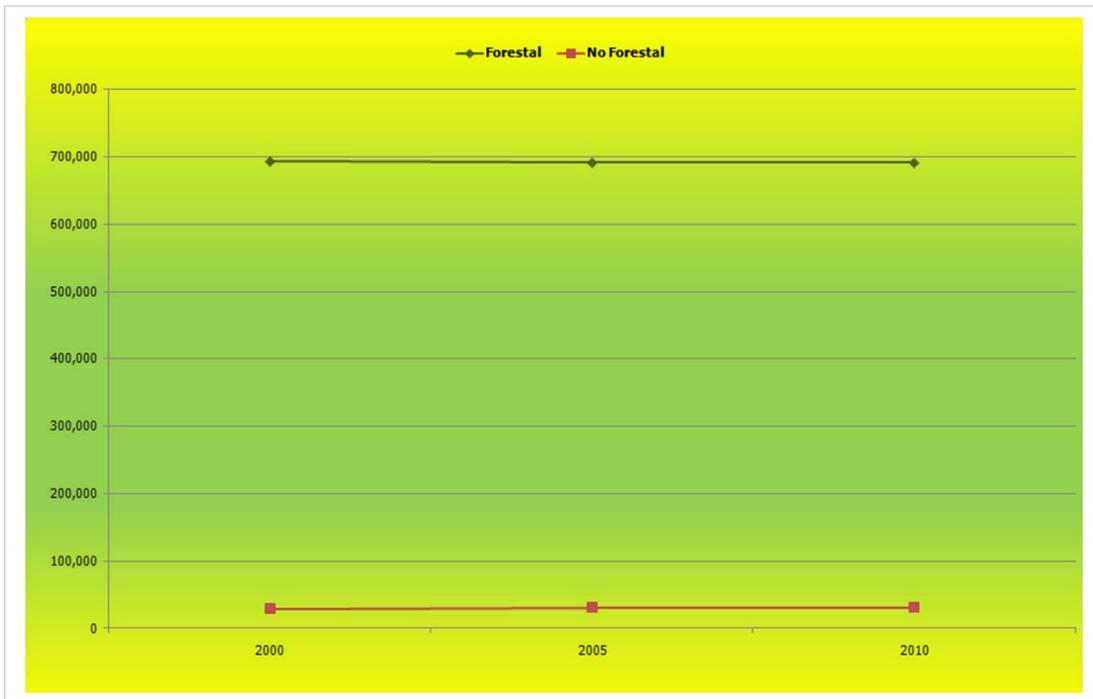
Figura 10.- Grupos Forestal-No Forestal año 2010

La siguiente tabla (4) muestra la superficie de los grupos Forestal y No forestal para los años 2000, 2005 y 2010; y es representada en la figura 11, en donde se observa que durante el periodo de 10 años la cobertura forestal tiende a disminuir sobre todo en los primeros 5 años, sin embargo y aunque en el segundo periodo de 5 años también disminuyó lo hace de forma no tan marcada como en el anterior.

Tabla 4. Superficie Forestal- No Forestal

Años	Forestal (Ha)	No Forestal (Ha)
2000	693,511	28,745
2004	691,763	30,493
2009	691,378	30,928

Figura 11. 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 2010 (Fig. 12, 13 y 14).

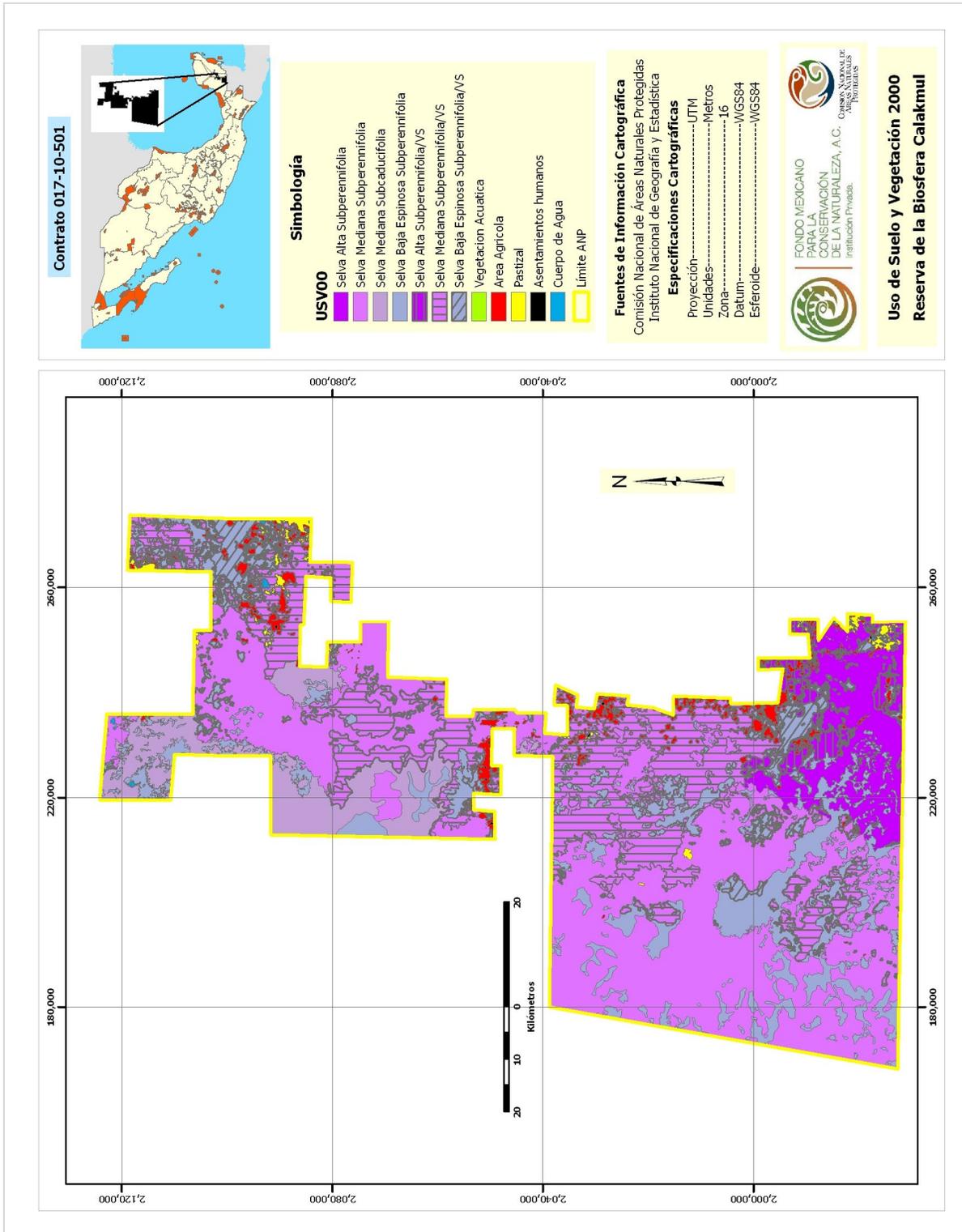


Figura 12- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen Landsat ETM 2000

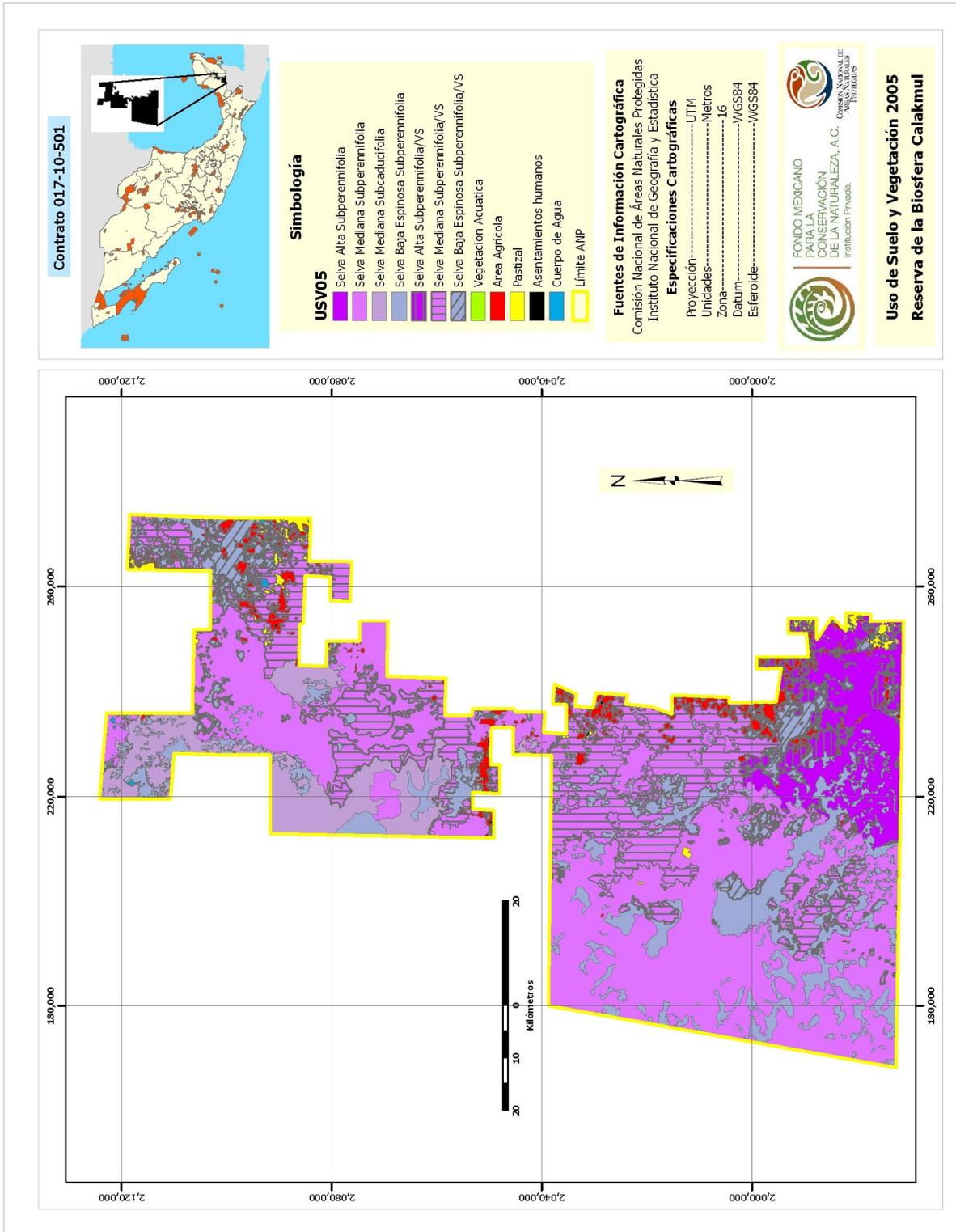


Figura 13.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2005

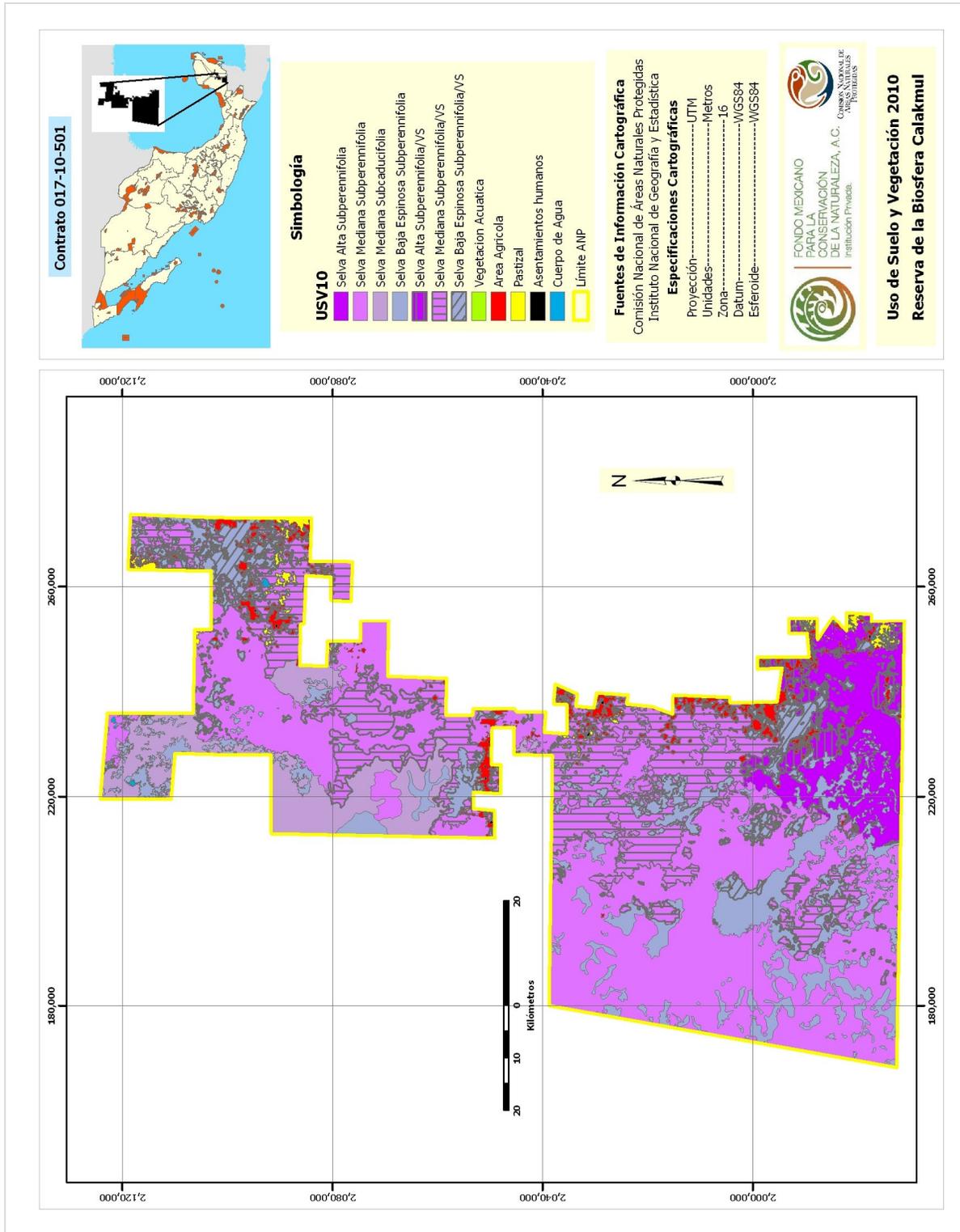


Figura 14.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2010

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 2005-2010. 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 – 2010 (figura 15).

Matriz de Cambio 2000 - 2005

La tabla (5) muestra los cambios ocurridos entre el periodo 2000-2005, en ella podemos ver qué, para el área de la Reserva, se presentan transformaciones por deforestación y revegetación.

En el primero de los casos, la deforestación, se presenta tanto en las comunidades primarias como las que se están asociadas a vegetación secundaria; y es justamente estas últimas las que han sido mayormente afectadas. Son tres las clases con valores altos de pérdida de cubierta forestal por procesos de deforestación, la selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria es la más afectada presentando un valor de 1, 607 ha que pasaron a ser de uso agrícola, le siguen las clases selva baja espinosa con vegetación secundaria y la selva alta subperennifolia con vegetación secundaria, las cuales presentan 388 y 268 hectáreas respectivamente, que pasaron a ser de uso agrícola.

Por otra parte, en este mismo periodo se observa que existe un proceso de revegetación, de sitios pasaron de tener un uso agropecuario a ser cubiertos por vegetación secundaria. De esta forma tenemos que 704 hectáreas dejaron de pertenecer a las categorías área agrícola y pastizal, y pasaron a formar parte de la superficie que ocupa la selva mediana subperennifolia. Por su parte 169 ha que fueron de uso agrícola pasaron a formar parte de la clase selva espinosa subperennifolia con vegetación secundaria.

Matriz de Cambio 2005 - 2010

De acuerdo con los datos, durante este periodo se observa la presencia de tres procesos: Deforestación, perturbación y revegetación. El primero de ellos, la deforestación es la que afecta a la mayoría de las cubiertas forestales sobre todo a la selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria que perdió 2, 422 ha las cuales pasaron a formar parte de la superficie de áreas agrícolas en su mayoría y pastos. La clase que le sigue en cuanto a resultar afectada es la selva baja espinosa subperennifolia con vegetación secundaria que perdió 739 ha.

En lo que respecta al proceso de perturbación éste se presenta en tres de las seis categorías de cubierta forestal primaria, siendo la más representativa en cuanto a superficie afectada la selva baja espinosa subperennifolia con 307 hectáreas.

Finalmente el proceso de revegetación se presenta hacia las tres categorías de vegetación asociada a secundarios, recuperándose en total de 3538 ha durante este periodo. De la superficie mencionada, 2, 438 ha pertenece al uso agrícola que se transformó en alguna de las clases asociada, mientras que el resto, 1100 ha corresponden a la clase pasto.

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

Matriz de Cambio Calakmul 2000 - 2005		Selva Alta Subperennifolia	Selva Baja Espinosa Subperennifolia	Selva Mediana Subcaducifolia	Selva Mediana Subperennifolia	Selva Alta Subperennifolia/VS	Selva Baja Espinosa Subperennifolia/VS	Selva Mediana Subperennifolia/VS	Area Agrícola	Asentamientos humanos	Pastizal	Cuerpo de Agua	Total 2000
Selva Alta Subperennifolia		52,569							49		26		52,644
Selva Baja Espinosa Subperennifolia			95,028										95,028
Selva Mediana Subcaducifolia				56,654					1				56,654
Selva Mediana Subperennifolia					279,918				206		2		280,125
Vegetacion Acuatica						26							26
Selva Alta Subperennifolia/VS						17,089			268		78		17,435
Selva Baja Espinosa Subperennifolia/VS							31,579		388				31,967
Selva Mediana Subperennifolia/VS							0	157,992	1,607		31		159,630
Area Agrícola						25	169	690	21,749		293		22,926
Asentamientos humanos										195			195
Pastizal									26		5,577		5,624
Cuerpo de Agua												479	479
Total 2005		52,569	95,028	56,654	279,918	17,123	31,749	158,696	24,292	195	6,006	479	722,735

Tabla 6.- Matriz de transición para el periodo 2005-2010

Matriz de Cambio Calakmul 2005 - 2010		Selva Alta Subperennifolia	Selva Baja Espinosa Subperennifolia	Selva Mediana Subcaducifolia	Selva Mediana Subperennifolia	Vegetacion Acuatica	Selva Alta Subperennifolia/VS	Selva Baja Espinosa Subperennifolia/VS	Selva Mediana Subperennifolia/VS	Area Agricola	Asentamientos humanos	Pastizal	Cuerpo de Agua	Total 2005
		52,362	94,995	56,654	279,796	26	16,679	31,009	0	156,274	2,172	195	720	428
Selva Alta Subperennifolia	52,362						21			135		51		52,569
Selva Baja Espinosa Subperennifolia		94,995						18		16				95,028
Selva Mediana Subcaducifolia			56,654											56,654
Selva Mediana Subperennifolia				279,796					6	115		1		279,918
Vegetacion Acuatica					26									26
Selva Alta Subperennifolia/VS							16,679			339		104		17,123
Selva Baja Espinosa Subperennifolia/VS								31,009		686		53		31,749
Selva Mediana Subperennifolia/VS								0	156,274	2,172		250		158,696
Area Agricola							122	388	1,928	21,134		720		24,292
Asentamientos humanos											195			195
Pastizal												4,493		6,006
Cuerpo de Agua							211	0	889	412	0		428	479
Total 2010	52,362	94,995	56,654	279,796	26	17,033	31,416	159,097	25,060	195	5,673	428	428	722,735

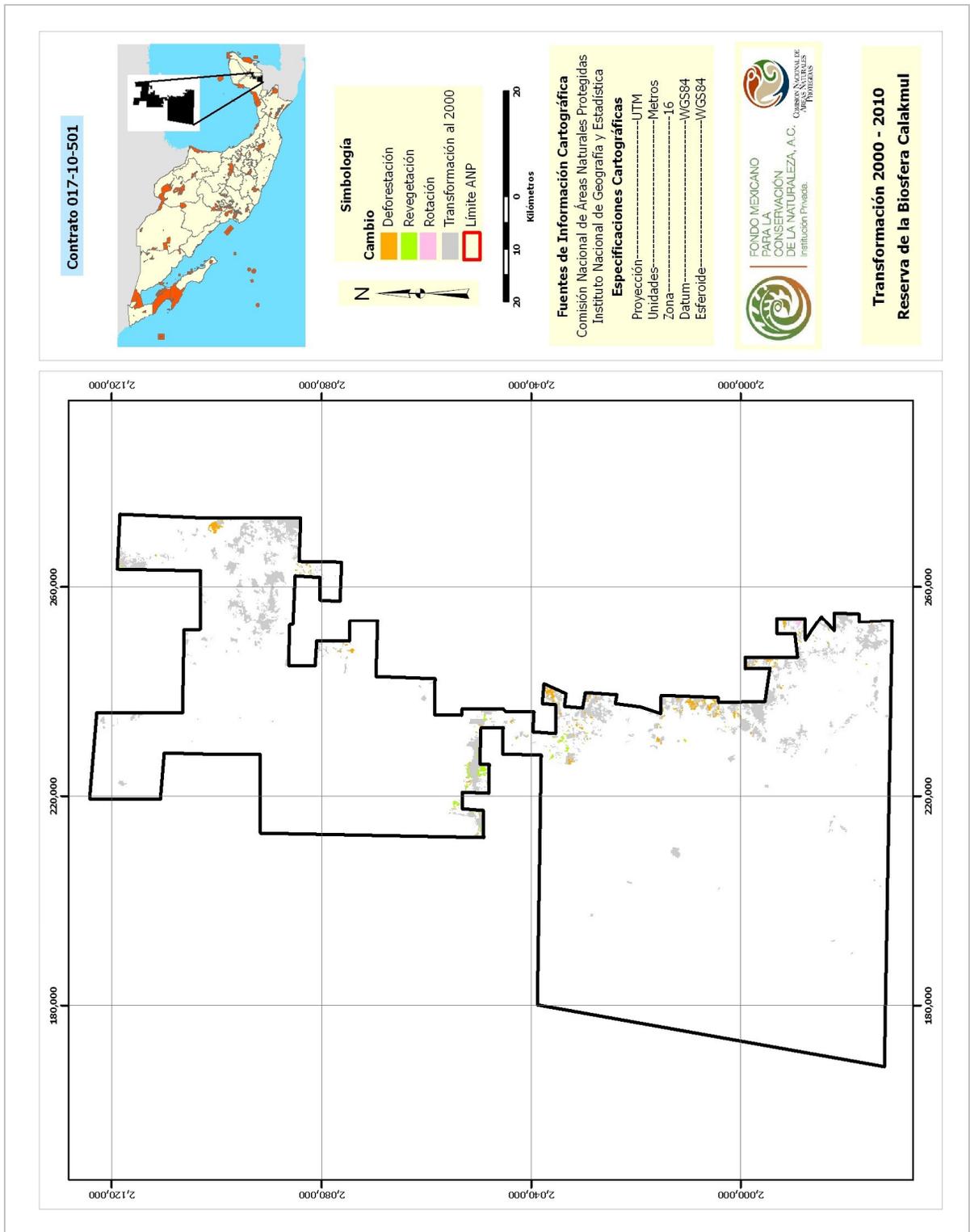


Figura 15.- Áreas de Cambio en el periodo 2000-2010

Durante el periodo 2000 – 2005, un total de 1, 748 hectáreas fueron transformadas, a un ritmo de 350 ha por año (tabla 7). En este periodo la clase selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria es la resultó más afectada.

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

Matriz de Cambio Calakmul 2000 - 2005	Área Agrícola	Pastizal
Selva Alta Subperennifolia	-49	-26
Selva Mediana Subcaducifolia	-1	
Selva Mediana Subperennifolia	-206	-2
Selva Alta Subperennifolia/VS	-243	-69
Selva Baja Espinosa Subperennifolia/VS	-219	
Selva Mediana Subperennifolia/VS	-917	-17
Subtotal	-1,634	-115
Total de cambio en el periodo HA	-1,748	
Total por año	-350	

Por su parte en el periodo 2005 – 2010, se transformaron un total de 385 hectáreas; 77 ha por año. Prácticamente la mayoría de las clases forestales tanto primarias como secundarias fueron quienes presentaron afectación sobre todo por procesos de deforestación relacionados con la agricultura. En este periodo además hay recuperación de las selvas con vegetación secundaria en áreas que habían sido ocupadas por pastizales (tabla 8).

Tabla 8.- Superficie Forestal afectada por No forestal en el periodo 2005-2010

Matriz de Cambio Calakmul 2005 - 2010	Área Agrícola	Pastizal
Selva Alta Subperennifolia	-135	-51
Selva Baja Espinosa Subperennifolia	-16	
Selva Mediana Subperennifolia	-115	-1
Selva Alta Subperennifolia/VS	-217	107
Selva Baja Espinosa Subperennifolia/VS	-299	-53
Selva Mediana Subperennifolia/VS	-243	639
Subtotal	-1,026	641
Total de cambio en el periodo HA	-385	
Total por año	-77	

Tasa de Transformación del Hábitat.

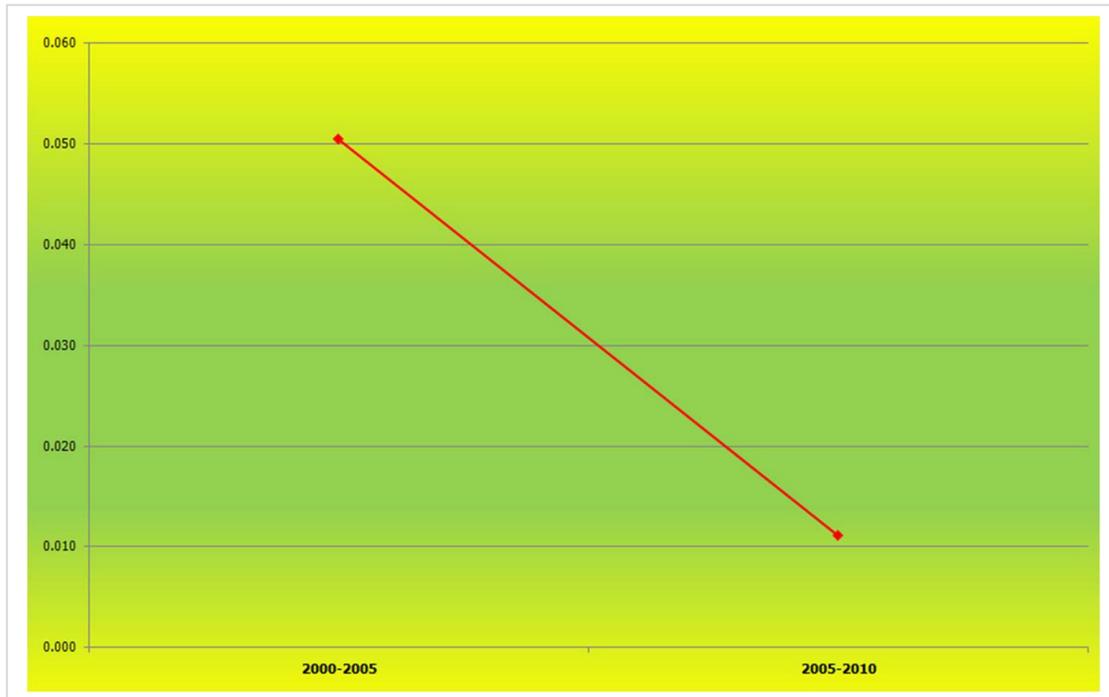
La tasa de transformación en el periodo 2000 – 2010 para la RB Calakmul es de 0.031, valor que corresponde a una superficie de -2, 132.53 hectáreas. Durante el periodo 2000 – 2005, hubo una transformación en 1, 748.18 hectáreas con una tasa de 0.050; mientras que el siguiente periodo tiene valores de tasa de transformación de 0.011 correspondiente a 384.35 ha (tabla 9). En todos los casos es evidente la pérdida de cobertura forestal.

Tabla 9.- Tasa de transformación del hábitat

Período	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual
2000-2005	693,511	691,763	-1,748.18	5	0.00050	0.050
2005-2010	691,763	691,378	-384.35	5	0.00011	0.011
2000-2010	693,511	691,378	-2,132.53	10	0.00031	0.031

En la gráfica (fig. 16) se muestra como ha sido el comportamiento de los valores durante el periodo de estudio.

Figura 16.- Tasa de transformación para la Reserva de la Biosfera Calakmul



Conclusiones

De acuerdo con los datos que fueron obtenidos, el valor de la tasa de transformación para el periodo de diez años (2000 – 2010) es de 0.031, que corresponde a una superficie de cambio de 2, 132.53 ha en el periodo. Es evidente la pérdida de la cobertura forestal en el área, aunque existe revegetación por parte de las cubiertas secundarias, ésta comparada con los valores superficie deforestada por categoría; resulta ser menor. Se puede suponer que esa revegetación se debe a que existieron sitios que se dejaron descansar de su uso habitual.

Hay que hacer mención que la pérdida de masa forestal se presentó en prácticamente todas las categorías forestales tanto las primarias como aquellas con asociación de vegetación secundaria. De acuerdo con el Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Calakmul, históricamente los huracanes han tenido un gran impacto sobre la vegetación, ya que al estar tanto tiempo expuesta al sol y el viento la convierte en combustible que alimenta incendios. En este sentido este trabajo podría ser complementado en algún momento con información meteorológica y de la presencia y distribución de incendios.

La utilización de imágenes de satélite y su procesamiento ha demostrado ser una forma de adquisición de datos de superficie de cambio, que reduce tiempos y permite conocer -hasta cierto punto- cual es el estado en el que se encuentran las masas forestales dentro de las ANP's del país. Sin embargo, es necesario reforzar estos resultados, con trabajo de campo lo que permitiría validar los datos obtenidos.

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, 2000. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México, 271 pp.

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

Díaz Gallegos, J.R., G. García Gil, O. Castillo Acosta, I. March. 2001. Uso de suelo y transformación de selvas, en un ejido de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche, México. Boletín del Instituto de Geografía UNAM. No.44, 39-53 p.

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

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

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

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

García, E. (1973). Modificaciones al Sistema de Clasificación de Köppen. (Para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana) 4ª. Edición. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México. 217 pp.

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

INEGI, 1992. Anuario Estadístico de Chiapas, 1992. INEGI y Gobierno del estado de Chiapas. 254pp.

INEGI, 2007. Diccionario de Datos de Uso del Suelo y Vegetación 1:250,000 (vectorial) Instituto Nacional de Geografía y Estadística. México. 50 pags.

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

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

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

Sánchez C. V., Figueroa, Fernanda, 2007. La efectividad de las reservas de la biosfera en México para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación. Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica / coord. por Gonzalo Halffter Salas, Sergio Guevara Sada, Antonio Melic, 2007, ISBN 978-84-935872-0-8, pags. 161-171

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

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

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

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

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

Valdés, C., L. Bourillón, M. Cervantes, E. Chavarría, J. Gutiérrez, M. Muñoz, A. Oriza y M. Tordesillas. 1992. Programa conceptual de manejo de la Reserva Especial de la Biosfera Ría Lagartos. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guaymas, 203 pp.

Referencias Web

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

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

<http://www.conanp.gob.mx/fanp.html>