



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



COMISION NACIONAL DE
ÁREAS NATURALES
PROTEGIDAS

CONTRATO No. 017-08-002

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

***Reserva de la Biosfera
La Encrucijada***



Nombre del Consultor:
Blanca Patricia Velasco Tapia

Periodo del Reporte:
25 de Julio al 25 de Septiembre 2009

Morelia, Michoacán
25 de Septiembre 2009

Coordinación

Jorge Carranza Sánchez
Subdirección de Área
CONANP-SEMARNAT

Andrew John Rhodes Espinoza
Coordinador Central del FANP
FMCN - CONANP

Consultora

Blanca Patricia Velasco Tapia
FMCN – CONANP

Colaboración Técnica

Ignacio Paniagua Ruíz
Jefe de Departamento
CONANP-SEMARNAT

Héctor Martín Cruz Rojas
Técnico del SIG
CONANP-SEMARNAT



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

“SEMAR-SAGARPA-ASERCA-CONANP 2009.

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

Índice

<i>Introducción</i>	4
<i>Antecedentes</i>	8
<i>Objetivo</i>	10
<i>Área de Estudio</i>	10
<i>Material</i>	14
Polígono oficial	14
Imágenes de satélite	14
Modelo Digital de Elevación (MDE)	16
<i>Metodología</i>	17
Rectificación de imágenes de satélite	17
Clasificación de imágenes de satélite	18
Áreas de cambio	20
Tasa de Transformación	22
<i>Resultados</i>	24
Imágenes de satélite	24
Uso del Suelo y Vegetación	26
Áreas de Cambios	32
Tasa de Transformación del Hábitat.	37
<i>Conclusiones</i>	39
<i>Bibliografía</i>	40

Introducción

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) administra actualmente 171 áreas naturales de carácter federal que representan más de 23 millones de hectáreas. La CONANP es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), encargado de la Administración de las Áreas Naturales Protegidas (ANP).

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, su Reglamento, el Programa de Manejo y los Programas de Ordenamiento Ecológico. Las ANP constituyen porciones terrestres o acuáticas del territorio nacional representativas de los diversos ecosistemas, en donde el ambiente original no ha sido esencialmente alterado y producen beneficios ecológicos cada vez más reconocidos y valorados.

El establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP) representa una herramienta estratégica para la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad de México. Uno de los mecanismos para lograr este objetivo es el proyecto Fondo para Áreas Naturales Protegidas (FANP).

El FANP fue creado dentro del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A. C. (FMCN), gracias al apoyo del Consejo de Áreas Naturales Protegidas. En 1997 el Gobierno Mexicano, el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A. C. y el Banco Mundial (BM) firmaron el acuerdo para la operación del FANP. Cuenta con recursos patrimoniales, cuyos intereses anuales apoyan la conservación de las áreas protegidas.

En 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 positivos de este análisis

abrieron las puertas al FMCN para la gestión de un segundo donativo del GEF. 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 programa FANP comprende los proyectos SINAP 1 y SINAP 2 apoyados por recursos patrimoniales provenientes del GEF, cuyos intereses son canalizados a ANP prioritarias. El FANP forma parte de un esfuerzo sin precedente entre la CONANP como responsable del manejo de las ANP; el BM, que actúa como agencia ejecutora del GEF; el FMCN, que está a cargo del manejo y canalización de los fondos, así como de la captación de apoyos adicionales; y las organizaciones de la sociedad civil, que apoyan en la administración de los recursos ejercidos por la CONANP y en la ejecución de proyectos.

El FANP cuenta con un sistema de monitoreo diseñado en 1998, que ha permitido evaluar los avances anuales con base en cuatro indicadores generales del proyecto, así como indicadores de cada área protegidas (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 respondió a una planificación a 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 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 y de manera eficiente, 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. La producción de información para la toma de decisiones implicará el conocimiento de qué y cómo se debe manejar las áreas protegidas.

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 (e.g., campos de cultivo, potreros, zonas urbanas, etc.). El tema no es de menor importancia, toda vez que la deforestación es una de las principales amenazas para la biodiversidad, conlleva la pérdida de numerosos servicios ambientales fundamentales y porque su ocurrencia es evidente, aún para el observador casual, en muchas partes del país.

Los ecosistemas existentes dentro de las áreas protegidas son diversos y complejos, por lo que es importante establecer el estado actual en el que se encuentran. Conocer aspectos generales como la superficie, forma y extensión, permitirá establecer parámetros básicos para su posterior valoración de cada ecosistema. Apoyados con las herramientas brindadas por la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, los ecosistemas se podrán identificar,

tipificar y cuantificar, verificando siempre con datos levantados en campo, ya sea por la metodología básica propuesta por el sistema de monitoreo (mediante observación directa de los guarda parques) o por el trabajo específico de especialistas sobre aspectos biológicos, o geomorfológicos, o geológicos, etc., o tratando de combinarlos. Este tipo de información posibilita construir mapas de distribución de cada ecosistema, los que posteriormente serán cruzados, con otras coberturas temáticas para establecer mapas de valoración para cada área.

El presente trabajo tiene como objetivo recopilar información del Uso del Suelo y Vegetación de diferentes fechas y actualizar los datos de la tasa de transformación del hábitat, como indicador de impacto de las Áreas Naturales Protegidas de interés del Fondo para Áreas Naturales Protegidas cuyos trabajos han sido 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). A partir del establecimiento de la línea de base del año 2000 con imágenes del satélite Landsat ETM+ y el seguimiento para los años 2005 y 2008, utilizando imágenes del satélite SPOT, 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. Una de las ventajas de usar estas imágenes fue la disponibilidad sin costo alguno reduciendo de esta forma los gastos del proyecto. En un inicio con las imágenes 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).

Posteriormente la CONANP continuo a partir del 2004 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, en su fase inicial a través del uso de las imágenes de satélite Landsat ETM y para los años a partir del 2004 con el empleo de las imágenes SPOT.

Como parte de los trabajos de reapropiación del programa de trabajo de la CONANP en el 2004 surge la necesidad de establecer el indicador para medir la Tasa de Transformación del Hábitat en ANP estableciendo como indicador las ANP's donde *“se mantienen o reducen la velocidad de cambio de la transformación de los ecosistemas naturales”*, con metas establecidas para 43 ANP, con un monitoreo anual y resultados que serían compilados en una base de datos, generando documentos donde se reportarían los resultados. El FANP en coordinación con la CONANP realizaron la contratación en el 2008 del Dr. Víctor Sánchez Cordero en 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 de un conjunto de ANP federales, para contener procesos de cambio

en la vegetación. 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, las áreas circundantes (AC) de 10 Km a partir de los límites de las ANP y en sus ecoregiones.

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).

A partir de este año 2009, el FMCN y la CONANP se plantean la recopilación de los trabajos elaborados de tasa de transformación del hábitat para las ANP con énfasis en las áreas que se encuentran dentro de los programas del SINAP 1 y SINAP 2 del Fondo para Áreas Naturales Protegidas.

El ANP de interés para el presente trabajo es la reserva de la biosfera La Encrucijada, zona de grandes y complejos macizos forestales de manglar y amplias zonas pantanosas de tulares y popales, así como relictos de importantes selvas. Una de las regiones de humedales más rica, diversa y productiva de México.

En el año del 2003 se realizó la primera evaluación de la reserva de la biosfera La Encrucijada (FANP-CONANP, 2003), en donde, se emplearon imágenes de satélite Landsat correspondientes a las décadas de los 70's, 80's, 90's y 2000. Los datos obtenidos para la reserva La Encrucijada fue que para el año 2000 contaba con una superficie no forestal transformada de 28,816 Ha que es el 24.91% de la superficie total terrestre de la reserva. La tasa de transformación del hábitat obtenida para el polígono de la reserva en el periodo 1975-2000 fue de 0.65% con 620 Ha/año, con una transformación total en 25 años de 15,500 Ha. La transformación del hábitat por actividades humanas, son debido a los desmontes para la agricultura y pastizales para potreros, que se encuentran en zonas donde anteriormente se encontraba vegetación de popal-tular, sabana y manglar.

Objetivo

- ◆ Estimar y/o actualizar la tasa de transformación del hábitat de la reserva de la biosfera La Encrucijada correspondiente a la Región Frontera Sur, Istmo y Pacífico Sur, para los años 2000, 2005 y 2008.

Área de Estudio

La reserva de la biosfera La Encrucijada se localiza al sur del estado de Chiapas, en la región fisiográfica denominada Planicie Costera del Pacífico, con una superficie de 144,868 hectáreas. Comprende parte de los Municipios de Pijijiapan, Mapastepec, Acapetahua, Huixtla, Villa Comaltitlán y Mazatán (Figura1).

El área de la reserva contiene depósitos superficiales del Cuaternario y Plioceno de origen terrestre, lacustre y fluvial. En los manglares se encuentran bancos de moluscos bivalvos no fosilizados, lo que denota que en épocas pasadas estos suelos estuvieron sumergidos en el mar. Debido al régimen de lluvias, la desembocadura de los ríos, así como los movimientos de aguas marinas, se forman lagunas salobres y esteros, cuyas zonas adjuntas contienen gran cantidad de islotes, formados por guijarros, suelo escaso y bancos de moluscos bivalvos, así como arenales.

Dentro del área de La Encrucijada, se encuentra un sistema fluvial muy importante perteneciente a la región hidrológica 23 (CNA), cuya característica principal son los ríos que presentan un curso corto con un promedio cercano a 45 km. Éstos se encuentran fuertemente influenciados por la temporada de lluvias y el volumen que transportan cambia a lo largo del año, llegando algunos a secarse casi por completo.

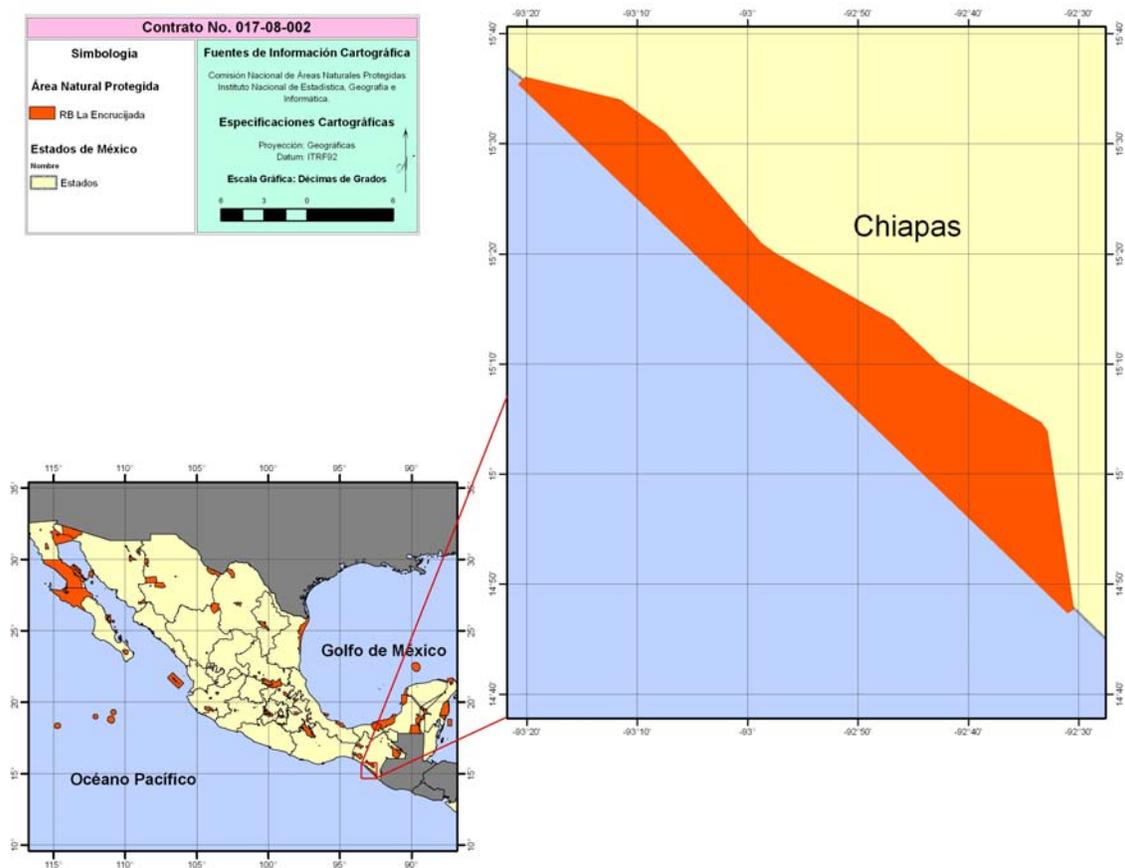


Figura 1.- Ubicación geográfica de La Encrucijada.

El clima de la región es del tipo Am(w) cálido-húmedo, con abundantes lluvias en verano. La precipitación pluvial responde a la ubicación geográfica, ya que a mayor altura y menor latitud, esta se incrementa, siendo mayor hacia la sierra y menor en la costa. La precipitación mínima anual es de 1,300 mm y la máxima es de 3,000 mm, repartidos entre 100 y 200 días lluviosos al año.

Los tipos de vegetación presentes en La Encrucijada son: manglar, zapotonal, popal, tular, selva mediana subperennifolia, selva baja caducifolia, vegetación flotante y subacuática, vegetación de dunas costeras y palmares.

Los manglares son formaciones vegetales leñosas de estructura densa y bien definida, se consideran como los ecosistemas más productivos y el punto de

partida de la cadena trófica. Los manglares de La Encrucijada como los más productivos y mejor desarrollados del Pacífico Americano. En este tipo de vegetación se encuentran cuatro especies de mangle: el mangle rojo (*Rizophora mangle*) es el más abundante, el mangle negro o botoncillo (*Conocarpus erectus*), el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y el madre sal (*Avicennia germinans*).

La extensión de estas poblaciones de zapotonales (*P. acuática*) es importante ya que contribuyen de manera significativa en los procesos naturales de aporte de nutrimentos, en los ciclos hidrológicos y terrestres, funcionan como filtro natural de contaminantes y como refugio importante de vida silvestre. Los popales son comunidades vegetales herbáceas que abarcan grandes superficies pantanosas de agua dulce estancada, la fisonomía de esta comunidad vegetal es muy característica, lo forman especies de 1 a 3 m de altura, de hojas grandes y anchas que sobresalen de la superficie del agua. En el área de la Reserva, los popales se asocian con los tulares en zonas inundables denominadas en la región como “pampas”.

La selva mediana subperennifolia es un tipo de vegetación exuberante con un dosel superior de 20 a 25 m de altura, las especies componentes pierden parte de su follaje en la temporada seca. En el área de la Reserva estos ecosistemas ocupan áreas reducidas, principalmente en las islas de tierra firme de la reserva.

La gran diversidad de ambientes en el área de la reserva, conjuntamente con su privilegiada situación geográfica, en el corredor que une el norte del continente con el centro y sur del mismo provoca que se encuentre en ella una gran riqueza faunística, destacando especies que se encuentran amenazadas o en peligro de extinción; la única ave endémica para el estado (*Camphylorhynchus chiapensis*); poblaciones importantes de especies carismáticas como el jaguar (*Panthera onca*), constituyendo uno de los refugios más importante para éste en Norteamérica. Es también un sitio de anidación para aves raras como la espátula rosada, la garza cándida y el cigüeñón.

Históricamente, la región del Soconusco, donde se encuentra enclavada la mayor parte de la reserva de la biosfera La Encrucijada, ha sido objeto de particular interés por parte de los diferentes grupos humanos que la han habitado, gracias a su enorme riqueza y las bondades climatológicas que presenta. Sin embargo, pese a los diferentes modos e intensidades de explotación a que fue sujeta, no es sino hasta fechas recientes que los problemas acelerados de destrucción de hábitat y pérdida de especies se ha presentado.

Esta situación obedece a dos hechos trascendentales: la llegada del ferrocarril (principios de siglo) y la apertura de la carretera panamericana (1950). Las enormes posibilidades de comunicación y comercio que tales vías trajeron, incrementan el nivel de vida de los pobladores locales pero al mismo tiempo permiten e intensifican las corrientes migratorias que tradicionalmente ocurren.

La población indígena original ha desaparecido y esto dió paso a un mestizaje con elementos no sólo de otras regiones del estado, sino del país y aun otros países; lo cual trae como consecuencia una transculturización y que los modelos de producción y apropiación de recursos sean hoy diferentes a los que durante siglos se desarrollaron, causando desajustes ecológicos.

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.

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

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

Satélite	Path	Row	Fecha	Resolución (metros)	Número de bandas
ETM	21	50	20-Jun-00	30	7
ETM	22	49	22-Jun-00	30	7

Con base en el polígono de las ANP fueron seleccionadas las imágenes de satélite SPOT necesarias para este trabajo, mismas que fueron solicitadas a la Estación de Recepción México del satélite SPOT (ERMEXS) a través de la Subdirección de Área a cargo del Sistema de Información Geográfica de la CONANP como gestor oficial. Solo fueron solicitadas aquellas imágenes que no se

encontraban en el acervo de imágenes de la CONANP. Un total de 6 imágenes fueron utilizadas para el cubrimiento completo del área de estudio (Tabla 2).

Tabla 2.- Imágenes de satélite SPOT para La Encrucijada.

Sensor	K	J	Fecha	Resolución espacial (metros)	Número de bandas	Tipo	Nivel de Procesamiento
Spot	602	319	24-Oct-05	10	4	Multiespectral	1A
Spot	603	320	25-Oct-05	10	4	Multiespectral	1A
Spot	602	319	16-Ene-09	10	4	Multiespectral	1A
Spot	603	319	27-Dic-08	10	4	Multiespectral	1A
Spot	603	320	27-Dic-08	10	4	Multiespectral	1A
Spot	604	320	15-Nov-08	10	4	Multiespectral	1A

Modelo Digital de Elevación (MDE)

El MDE se obtuvo de la página del INEGI tomando en cuenta sus coordenadas extremas (<http://mapserver.inegi.gov.mx/DescargaMDEWeb>) (Figura 2). La figura muestra el MDE, las partes más bajas están en color rosa, mientras que las azules las zonas medias y las marrones indican elevaciones mayores.

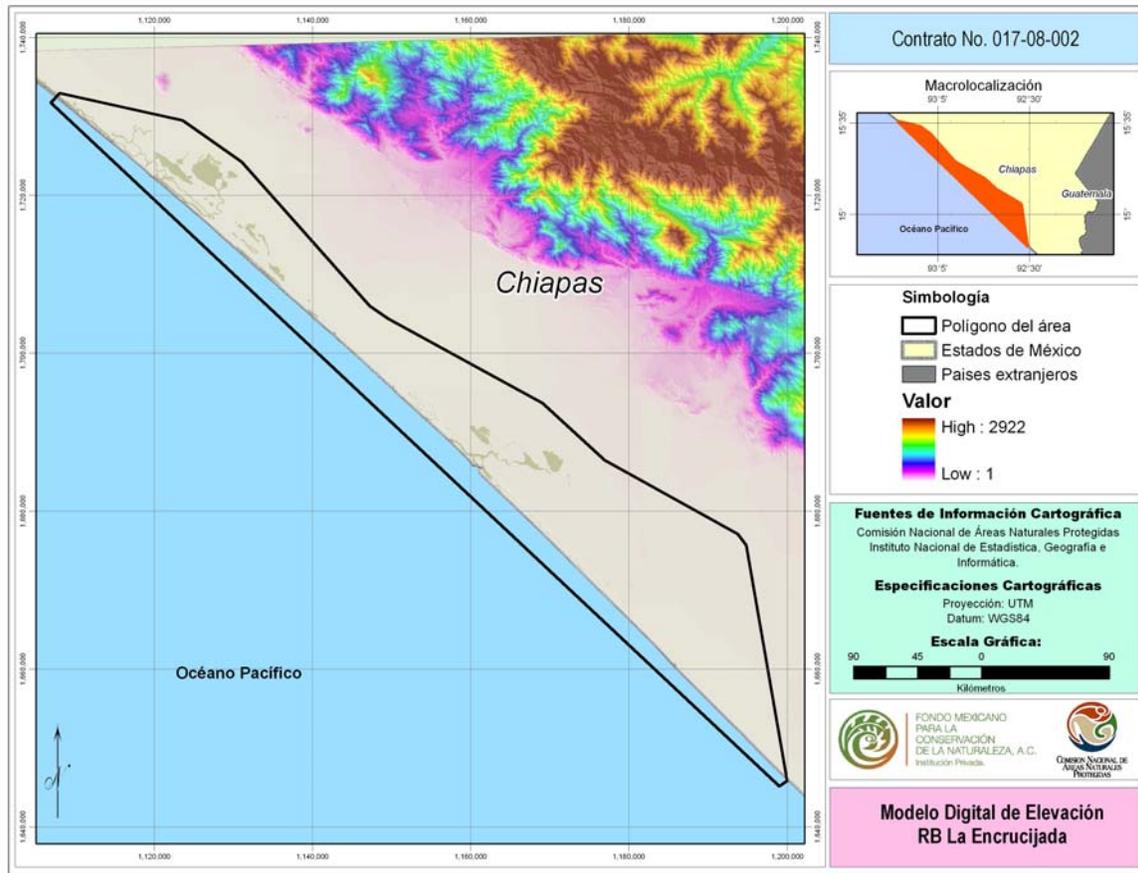


Figura 2.- Modelo Digital de Elevación INEGI, 1:50,000.

Metodología

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

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

Rectificación de imágenes de satélite

Las imágenes son procesadas en el programa ERDAS 8.7. 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, permite realizar el proceso de ortorectificación de una manera más sencilla y rápida obteniendo un mejor resultado en comparación con el proceso de georeferenciación.

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

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

Otra de las ventajas es que al realizar este proceso, sobre las dos escenas la multiespectral de 10 m y la pancromática de 2.5 se obtiene un producto más fino y con una excelente calidad, una imagen a color con una resolución de 2.5, lo que permite hacer una buena clasificación.

El uso de las bondades del sensor SPOT5, las herramientas de Erdas Imagine y el conocimiento del personal especializado, ha permitido realizar las actividades de ortorectificación de manera automatizada, disminuyendo casi un 90% del tiempo destinado para realizar estos procesos pre-clasificatorios.

Clasificación de imágenes de satélite

Una vez rectificadas geoméricamente las imágenes multiespectrales se realiza un falso color RGB 1,2,3 (verde, rojo e infrarrojo) resaltando en rojo la vegetación existente. El contar con falsos colores permite un análisis interactivo, como base para la realización de la interpretación visual a fin de identificar los sitios de entrenamiento y la identificación de los tipos de uso del suelo y vegetación. 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). De ahí que cuanto mayor sea el contraste entre esas bandas, mayor será el vigor de la vegetación, y más clara su discriminación frente a otros tipos de cubierta. Con base en la información cartográfica del Inventario Forestal Nacional 2000-2001, escala 1:250,000 y la cobertura de Uso de Suelo y Vegetación INEGI Serie III, así como con base a los límites del área de estudio, se establecieron los diferentes sitios de entrenamiento a fin de generar las firmas espectrales.

Las firmas espectrales se generan utilizando las 4 bandas que presenta la imagen SPOT multiespectral. La firma espectral se define como un patrón de respuesta que es característico ya que cada material en la naturaleza tiene su propia interacción con la energía electromagnética. La base de una clasificación es

encontrar algunas 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 efectuada la clasificación automatizada es apoyada con la interpretación visual en pantalla. En este marco, se puede aprovechar la potencia de 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 fotointerpretación 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, que 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 coberturas obtenidas en raster se convierten a vectores en formato de Arcinfo, y son corregidos aquellos polígonos que no estaban acorde al límite del tipo de uso del suelo y vegetación, a través de la interpretación visual siguiendo el método de la FAO 2000 (FAO, 2001). Eliminando también el área mínima cartografiada 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.

Por lo anterior, la primera tarea es clasificar de forma automatizada cada una de las imágenes que se encuentran dentro del polígono del área de estudio, utilizando ERDAS Imagine. El método utilizado es “supervisado”, en el cual se utilizan las firmas espectrales. Estos grupos equivalen a píxeles con un comportamiento espectral homogéneo y, por tanto, debe de definir clases temáticas de interés. Cuando las imágenes quedan plenamente delimitadas y corregidas, son transferidas a ArcMap para elaborar los mapas correspondientes y poder calcular la superficie por 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 transición que incluye la reagrupación de categorías de acuerdo al tipo de transformación al que hayan sido sometidos dentro del periodo:

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

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

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

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

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

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

Vegetación conservada sin cambio.

Vegetación perturbada sin cambio.

Usos agropecuarios sin cambio.

Otras cubiertas sin cambio.

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

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

Diseño de la Matriz de Transición. Los datos se ordenan de mayor a menor grado de antropización de la cubierta, excepto el agua. B = Vegetación Primaria (Bosque-Selvas Densas); 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 vegetación forestal y vegetación 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 herramientas de los SIG, se realiza la intersección entre las coberturas de cada fecha, obteniendo los polígonos que marcan el cambio de uso de suelo. La intersección se realiza sobreponiendo la primera fecha sobre la segunda. Una vez realizada la intersección, 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 generaron las matrices de Marcov, con los datos de la intersección, donde se muestra las pérdidas y ganancias de cada fecha. La matriz contiene en el eje vertical los tipos de vegetación 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 en la cobertura de vegetación y uso de suelo.

Resultados

Imágenes de satélite

Las imágenes finales tienen una proyección cartográfica UTM, Datum-WGS84, Esferoide-WGS84, Zona-15 Norte.

La imagen Landsat ETM del año 2000, se trabajó en una combinación de falso color RGB de las bandas 4, 3, 2 que corresponde al Infrarrojo, Rojo y Verde. Donde las tonalidades en rojo son los bosques, los tonos cafés las selvas y las áreas en color blanco y gris asentamientos humanos, cultivos y pastizales (Figura3).

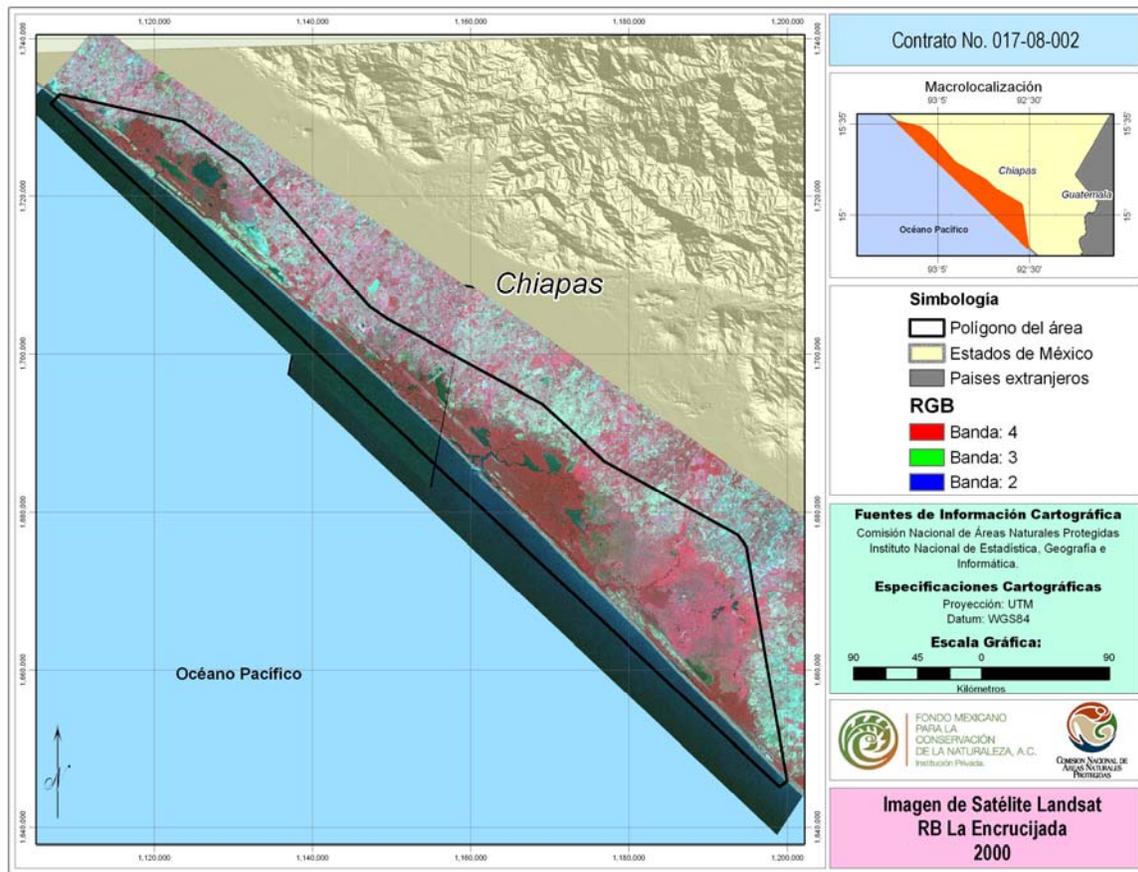


Figura 3.- Imagen de satélite Landsat ETM 2000, falso color RGB 4,3,2.

Las imágenes SPOT de los años 2005 y 2008 el falso color es RGB de las bandas 1, 2, 3 corresponde al verde, rojo e infrarrojo, con el despliegue similar al obtenido con la imagen Landsat. (Figura 4 y 5).

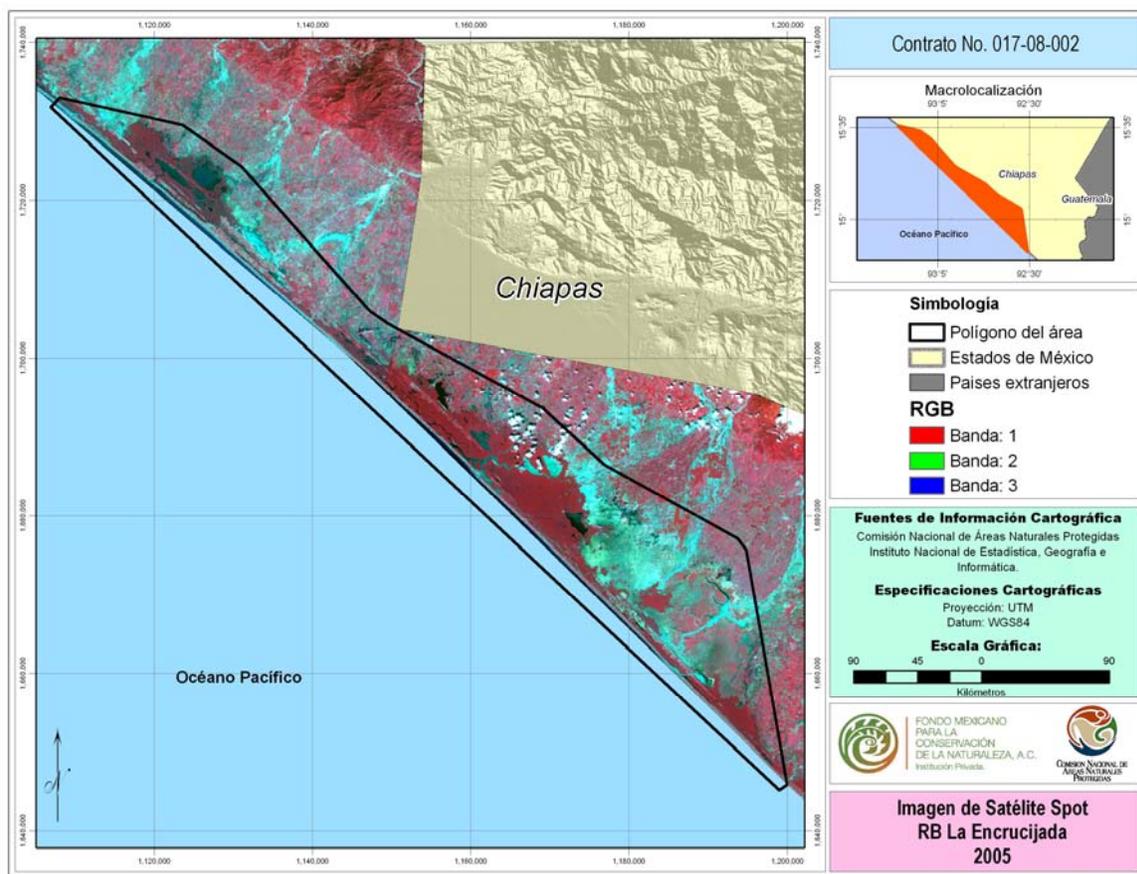


Figura 4.- Imagen de satélite SPOT 2005, falso color RGB 1,2,3.

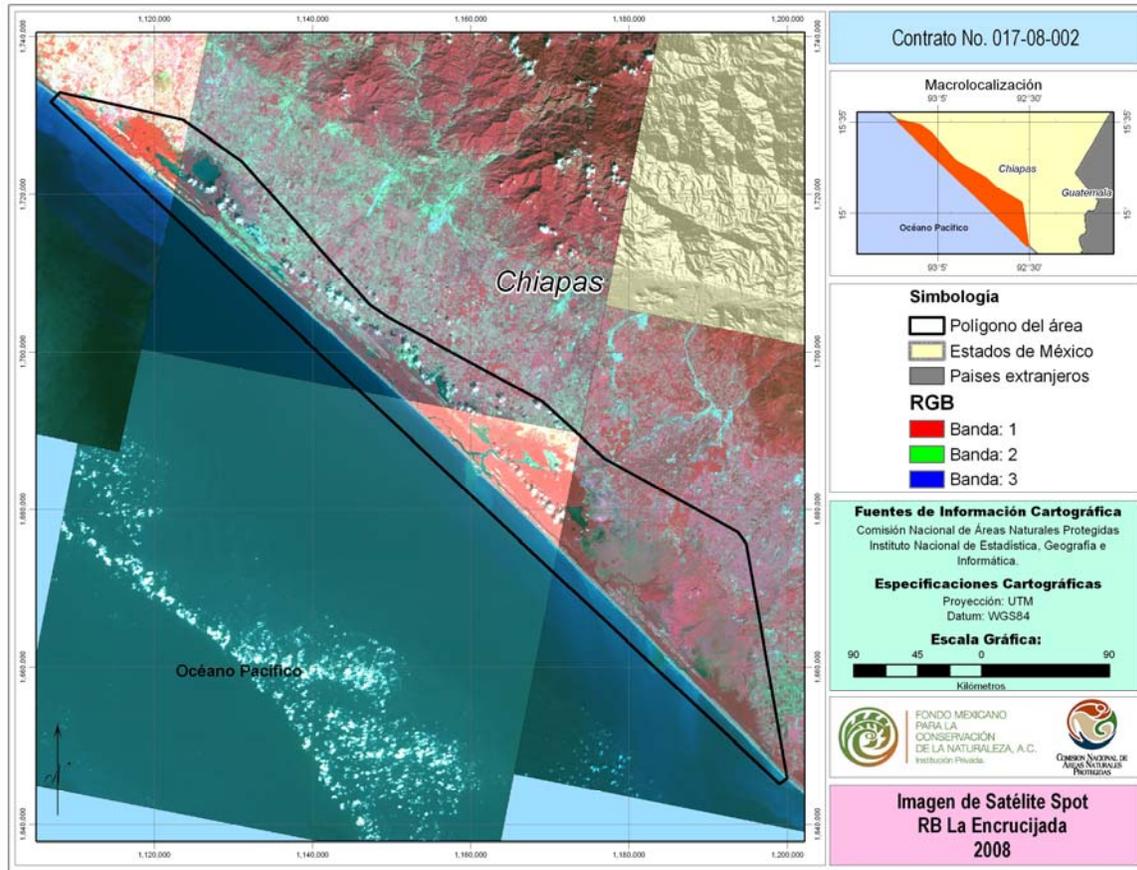


Figura 5.- Imagen de satélite SPOT 2008, falso color RGB

Uso del Suelo y Vegetación

En la tabla 3, se presentan la superficie por tipo de Uso del Suelo y Vegetación para los años 2000, 2005 y 2008, resultado de la clasificación de las imágenes de satélite Landsat ETM 2000, SPOT 2005 y 2008.

Las superficies se encuentran agrupadas en Forestal y No Forestal, así como en Otros que incluye a los cuerpos de agua. Para el 2000, la clase Forestal ocupa el 47%, en el 2005 y 2008 el 45%, esta representado en su mayoría por el conjunto Manglar y Popal-Tular.

Tabla 3.- Superficie de Uso del Suelo y Vegetación para los años 2000, 2005 y 2008

Uso de Suelo y Vegetación	2000		2005		2008	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Forestal						
Manglar	29,759	21	29,249	20	29,449	20
Palmares	357	0	374	0	423	0
Popal-Tular	30,595	21	28,766	20	28,995	20
Selva Alta Perennifolia	515	0	359	0	338	0
Selva de Galeria	877	1	877	1	877	1
Selva Perennifolia-zapotal	146	0	146	0	147	0
Sin Vegetación Aparente	812	1	392	0	406	0
Vegetacion de duna costera	711	0	711	0	702	0
Manglar con vegetacion Secundaria	4,087	3	3,972	3	4,279	3
Selva Alta Perennifolia vsa	135	0	26	0	38	0
Subtotal	67,994	47	64,873	45	65,654	45
No-Forestal						
Pastizal	451	0	451	0	363	0
Zonas agricolas	40,776	28	41,421	29	42,741	30
Zonas Urbanas	615	0	620	0	620	0
Granjas Acuícolas	24	0	24	0	24	0
Subtotal	41,867	29	42,516	29	43,748	30
Otros						
Porcion marina	28,568	20	28,923	20	28,923	20
Cuerpos de Agua	6,445	4	8,560	6	6,548	5
Subtotal	35,013	24	37,483	26	35,471	24
Total	144,873	100	144,873	100	144,873	100

Dentro del grupo No Forestal. la categoría Zonas Agrícolas es la más representativa, ocupando el 28% de superficie en el 2000, para incrementarse al 29% en 2005 y terminar con el 30% en 2008, le sigue en importancia los Pastizal y los Asentamientos Humanos.

Los mapas (Figura 6) muestran la secuencia de los grupos Forestal y No Forestal en los años 2000, 2005 y 2008. El color verde representa aquellas zonas en donde de mantiene la vegetación Forestal, mientras que el color amarillo corresponde a las zonas que han sido transformado a través del tiempo debido a actividades humanas.

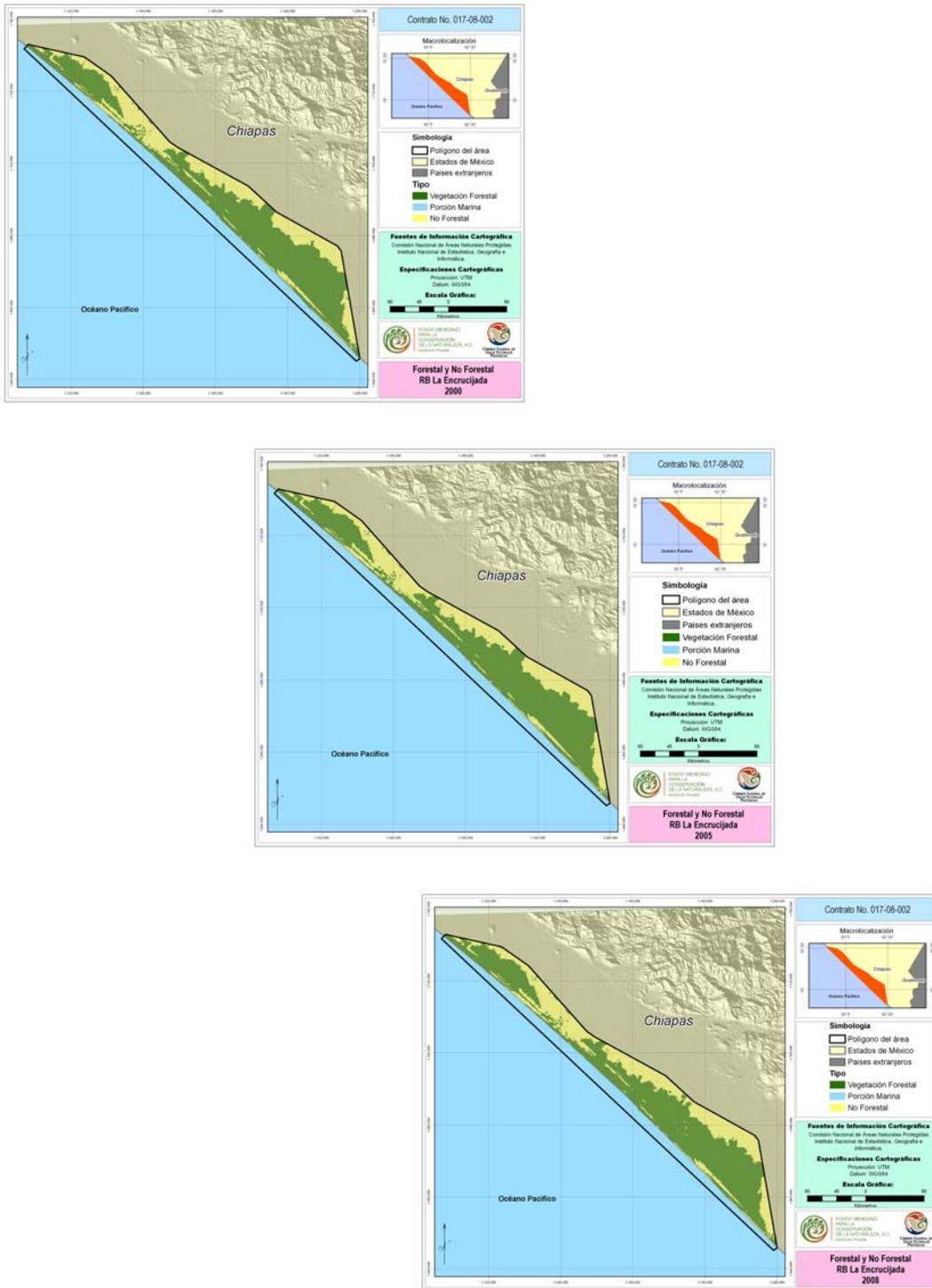


Figura 6.- Grupo Forestal-No Forestal años 2000, 2005 y 2008

La tabla 4 muestra los datos de superficie de 1975 hasta el 2008. En el año 1987, cinco años antes al establecimiento de la RB La Encrucijada, la vegetación Forestal ocupaba una superficie de 71,302 hectáreas para el año 2000 se registra una superficie de 67,994 hectáreas, 2005 cubrió 64,873 hectáreas y finalmente en el 2008 la porción Forestal cubre 65,654 hectáreas, lo que representa que a partir del establecimiento de la reserva, ha disminuido la velocidad de cambio en el área.

Tabla 4. Superficie Forestal- No Forestal

Años	Forestal (Ha)	No Forestal (Ha)
1975	102,341	13,316
1987	71,302	38,724
2000	67,994	41,867
2005	64,873	42,516
2008	65,654	43,748

La grafica (Fig.7) muestra la tendencia que se ha presentado de la superficie de la vegetación Forestal y No Forestal con datos obtenidos a partir de los años 70's al 2008. Hasta antes de los 90's se presenta una tendencia continua a reducir las áreas de vegetación forestal e incrementar las zonas No Forestal, pero después se nota una clara estabilidad entre ambas categorías.

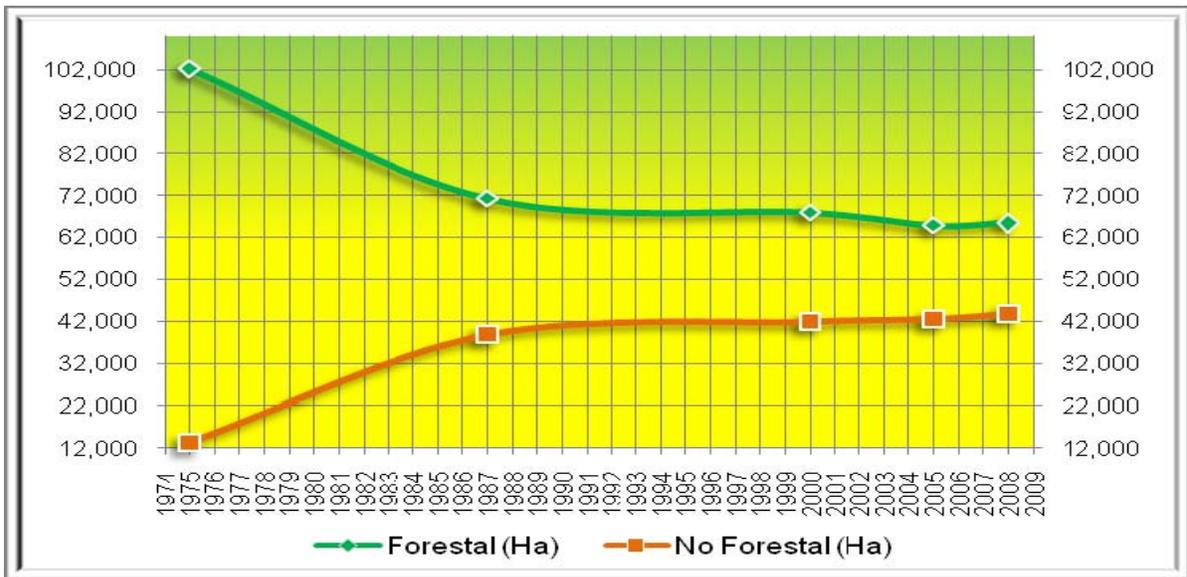


Figura 7.- Gráfica de comportamiento Forestal-No Forestal de 1975 al 2008

Como resultado de la clasificación de las imágenes se presentan los mapas con las coberturas para los años 2000, 2005 y 2008. En donde se puede observar que los colores verdes corresponde al conjunto Forestal, mientras que las selvas están representadas por los colores rosados y morados y las actividades humanas como la agricultura en color amarillo y los pastizales en color naranja. Es muy fácil identificar las zonas de asentamientos humanos que se representan por el color gris (Fig. 8, 9 y 10).

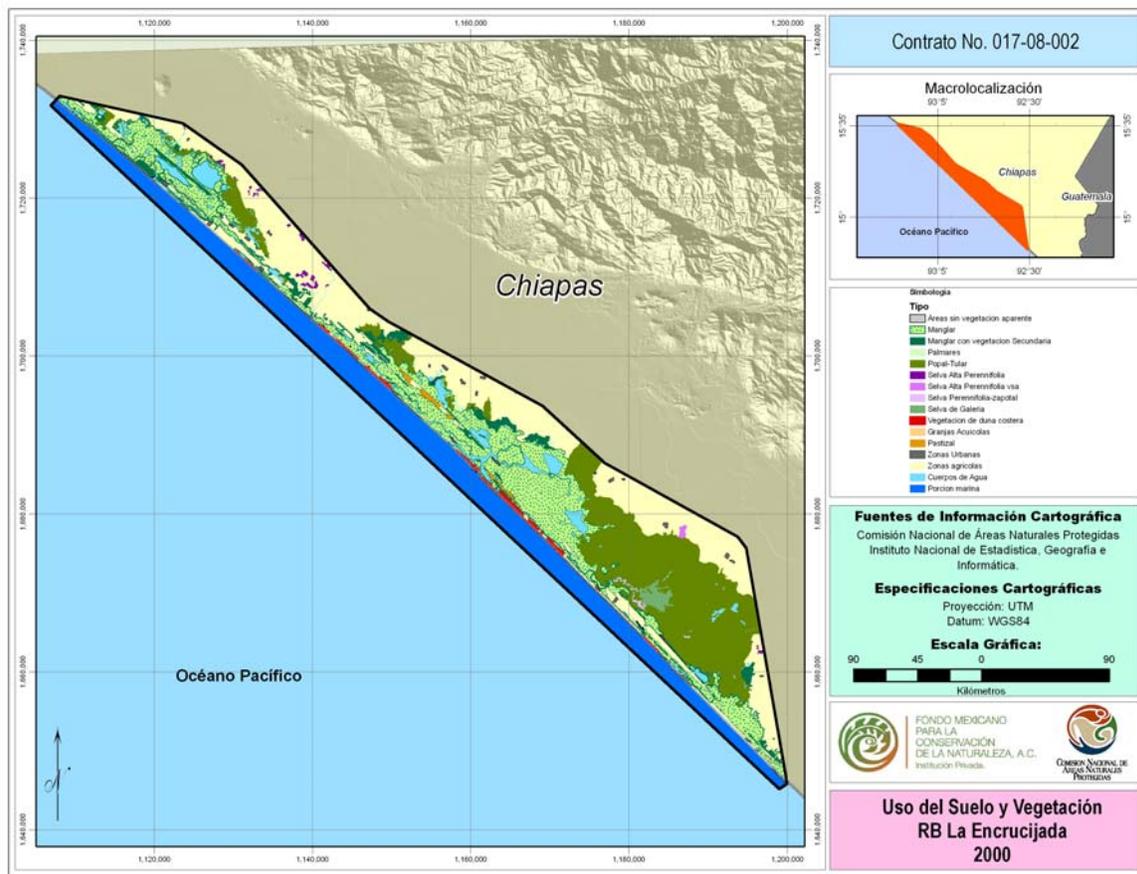


Figura 8.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen Landsat ETM 2000.

Los manglares junto con el pupal-tular, son las dos categorías que más superficie forestal cubren dentro de la RB La Encrucijada y se presentan con la frontera de actividades humanas, siendo las que mayor presión tienen para ser modificadas.

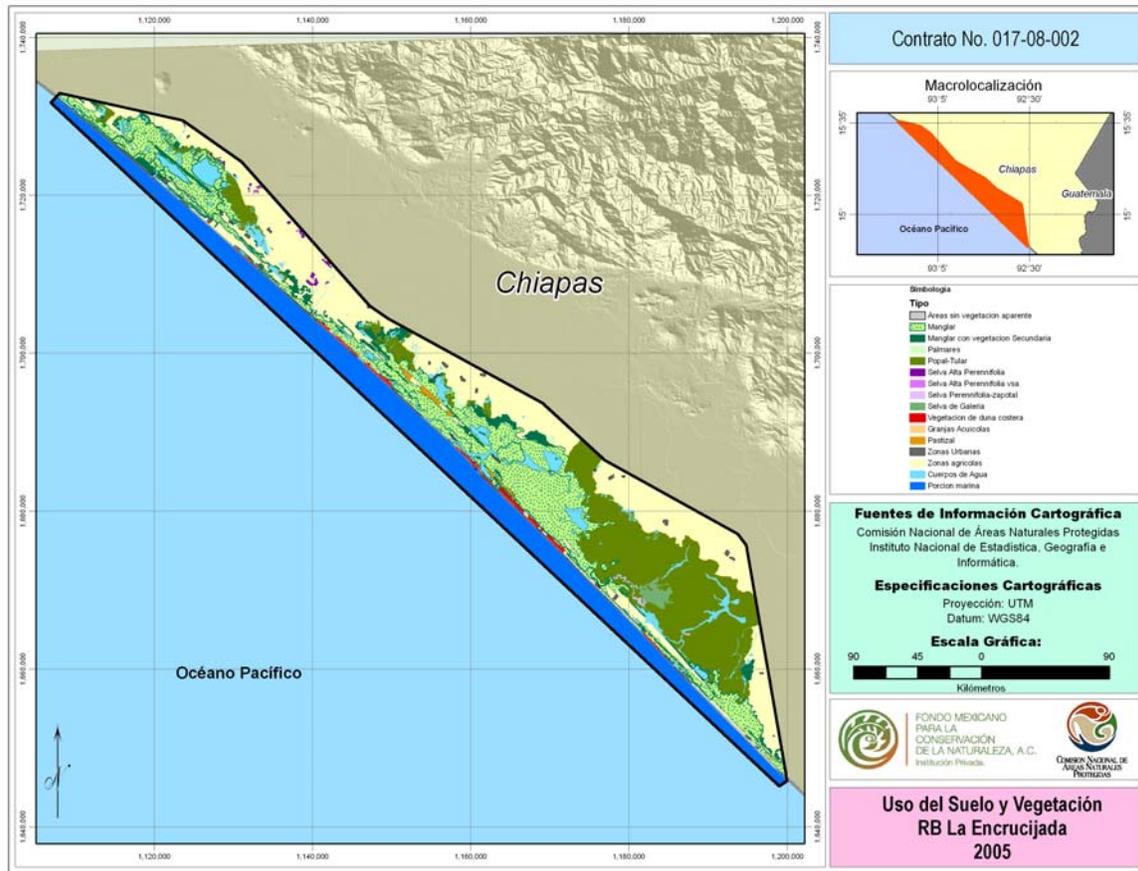


Figura 9.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2005.

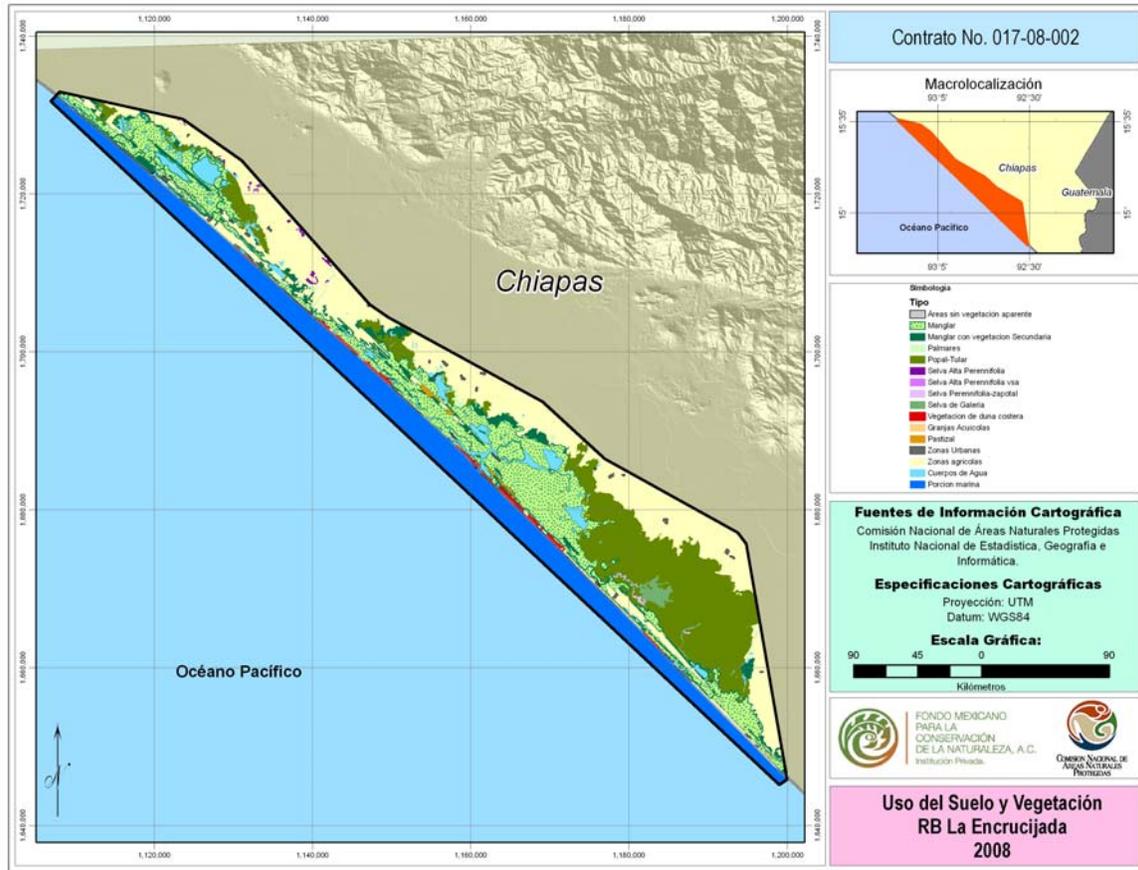


Figura 10.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2008.

Áreas de Cambios

En la matriz de transición (Tabla 5 y 6) se reflejan los cambios entre cada periodo. El periodo 2000-2005, las coberturas forestales se ven afectadas por las No forestales y al mismo tiempo existe una dinámica en cuerpos de agua y porción marina. Para el periodo 2005-2008 presentan un comportamiento donde las actividades humanas siguen afectando cubiertas forestales, sin embargo también existe una ligera recuperación en con presencia de revegetación.

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

Matriz de Cambio	Manglar	Palmares	Popal-Tular	Selva Alta Perennifolia	Selva de Galería	Selva Perennifolia-zapotol	Sin Vegetación Aparente	Vegetación de duna costera	Manglar con vegetación Secundaria	Selva Alta Perennifolia vsa	Pastizal	Zonas agrícolas	Zonas Urbanas	Granjas Acuícolas	Porción marina	Cuerpos de Agua	Total 2000
Manglar	29,248								107			68			2	334	29,759
Palmares		357															357
Popal-Tular			28,642									401				1,552	30,595
Selva Alta Perennifolia				359						10		146					515
Selva de Galería					877												877
Selva Perennifolia-zapotol						146											146
Sin Vegetación Aparente							390		1			8			338	76	812
Vegetación de duna costera								711									711
Manglar con vegetación Secundaria									3,758			230	5			94	4,087
Selva Alta Perennifolia vsa												135					135
Pastizal											451						451
Zonas agrícolas		18							103	16		40,433				206	40,776
Zonas Urbanas													615				615
Granjas Acuícolas														24			24
Porción marina															28,568		28,568
Cuerpos de Agua	1		124				2		3						16	6,299	6,445
Total 2005	29,249	374	28,766	359	877	146	392	711	3,972	26	451	41,421	620	24	28,923	8,560	144,873

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

	Manglar	Palmares	Popal-Tular	Selva Alta Perennifolia	Selva de Galería	Selva Perennifolia-zapotol	Sin Vegetación Aparente	Vegetación de duna costera	Manglar con vegetación Secundaria	Selva Alta Perennifolia vsa	Pastizal	Zonas agrícolas	Zonas Urbanas	Granjas Acuícolas	Porción marina	Cuerpos de Agua	Total 2005
USV05																	
Manglar	29,118								62		16	53				0	29,249
Palmares		353									0	20					374
Popal-Tular			27,434								25	1,250				58	28,766
Selva Alta Perennifolia				338								22					359
Selva de Galería					877												877
Selva Perennifolia-zapotol						146											146
Sin Vegetación Aparente							391									2	392
Vegetación de duna costera								702				8					711
Manglar con vegetación Secundaria		0							3,673		4	293				3	3,972
Selva Alta Perennifolia vsa										26							26
Pastizal									144		305	2					451
Zonas agrícolas		68	64						361	12	0	40,916					41,421
Zonas Urbanas													620				620
Granjas Acuícolas														24			24
Porción marina															28,923		28,923
Cuerpos de Agua	331	2	1,498			0	15		39	13	176					6,486	8,560
Total 2008	29,449	423	28,995	338	877	147	406	702	4,279	38	363	42,741	620	24	28,923	6,548	144,873

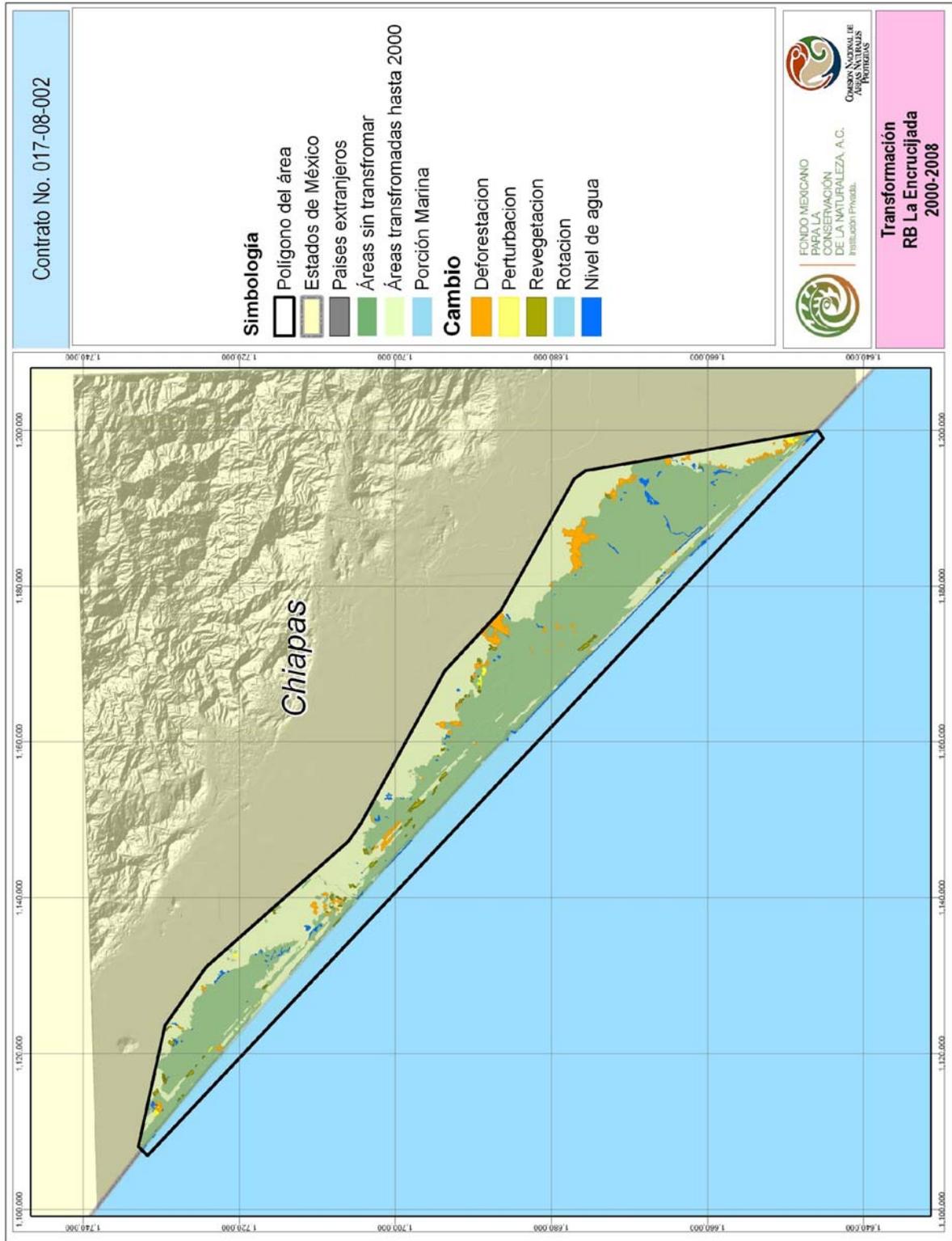


Figura 11.- Áreas de cambio en el periodo 2000-2008.

La figura 11 muestra las áreas de cambio que se presentaron en el periodo 2000-2008. En general el color verde muestra las áreas que no han sufrido transformación y las zonas de color verde claro aquellas zonas que han sido transformadas por las actividades antrópicas.

Las zonas de deforestación se muestran en color naranja y las áreas de perturbación en color amarillo. Mientras que la zona de revegetación se indica con un tono de verde más intenso. Rotación se identifica con un cian y el nivel en los cuerpos de agua con un azul marino.

Las tablas 7 y 8 muestran la superficie de los tipos de vegetación que es afectada por actividades humanas. En el periodo 2000-2005, la agricultura tiene un avance constante sobre las áreas Forestales, es importante las modificaciones que se presentan debido al crecimiento en las causas de ríos, los cuales afectan directamente a la capa Forestal. En total en el periodo se transformaron 3,121 Hectáreas que representan 624 Ha/Año.

Tabla 7.- Superficie de vegetación afectada por actividades humanas y Cuerpos de Agua periodo 2000-2005.

Transformación en el periodo 2000-2005	Zonas agrícolas	Zonas Urbanas	Cuerpos de Agua	Porción marina
Manglar	-68.20		-332.82	-2.32
Palmares	17.51			
Popal-Tular	-400.77		1,428.47	
Selva Alta Perennifolia	-145.57			
Selva de Galería				
Selva Perennifolia-zapotal				
Sin Vegetación Aparente	-7.95		-73.66	337.55
Vegetación de duna costera				
Manglar con vegetación Secundaria	-126.68	5.41	-90.35	
Selva Alta Perennifolia vsa	-118.43			
<i>Subtotal</i>	-850.09	5.41	1,925.30	339.87
Total	-3,121	Ha en 5 años		
Total	-624	Ha por año		

Para el periodo 2005-2008, los pastizales tienen una mayor afectación y la agricultura sigue ejerciendo presión sobre los Forestales, sin embargo existe una pequeña recuperación. Los cuerpos de agua pierden territorio principalmente con las áreas de Manglar y de Popal-tular.

Tabla 8.- Superficie de vegetación afectada por actividades humanas periodo 2004-2008.

Transformación en el periodo 2005-2008	Pastizal	Zonas agrícolas	Cuerpos de Agua
Manglar	-15.85	-53.22	330.76
Palmares	-0.47	47.25	2.37
Popal-Tular	-24.54	1,185.97	1,439.69
Selva Alta Perennifolia		-21.60	
Selva de Galeria			
Selva Perennifolia-zapotal			0.47
Sin Vegetación Aparente			13.37
Vegetacion de duna costera		352.43	
Manglar con vegetacion Secundaria	140.46	-281.12	36.49
Selva Alta Perennifolia vsa			
<i>Subtotal</i>	99.59	1,142.24	1,823.14
Total	780	Ha en 3 años	
Total	260	Ha por año	

Tasa de Transformación del Hábitat.

En la tabla 9, se puede observar que dentro del periodo 2000-2005 se transforman 3,121 Ha y para el 2005-2008 780 Ha, lo que representa una tasa de 0.94% para el periodo 2000-2005 y 0.40% para el periodo 2005-2008.

Tabla 9.- Tasa de transformación del hábitat

Período	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual	Ha/año
2000-2005	67,994	64,873	3,121	5	0.009	0.94	624
2005-2008	64,873	65,654	-780	3	-0.004	-0.40	-260

En el primer periodo existe una transformación más elevada que en el segundo. El comportamiento general tiende a disminuir, como lo muestra el conjunto de datos de las fechas anteriores (Tabla 10). Sin embargo la tendencia general es a disminuir la tasa de transformación a través del tiempo, esto se puede observar claramente en el periodo 2000-2005 y 2005-2008 (Figura 12), donde la tasa de cambio pasa del .94% al .40%.

Tabla 10.- Tasa de transformación del hábitat histórica

Período	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual
1975-1987	102,341	13,316	89,025	13	0.145	0.00
1987-2000	71,302	67,994	3,308	13	0.004	0.36
2000-2005	67,994	64,873	3,121	5	0.009	0.94
2005-2008	64,873	65,654	-780	3	-0.004	-0.40



Figura 12.- Tendencia de la tasa de transformación

Conclusiones

Para el presente trabajo fueron utilizadas imágenes de satélite Landsat del sensor ETM para el año 2000 e imágenes del satélite SPOT del sensor 5 para el resto de las fechas. Todas las imágenes fueron ortorectificadas utilizando el Modelo Digital de Elevación INEGI 1:50,000 y los datos de las efemérides de las imágenes. Obteniendo con esto un error medio cuadrático (RMS) muy bajo y mejor coincidencia entre las imágenes.

Los datos indican que el grupo de vegetación Forestal ocupa un porcentaje del 46.93% en el año 2000, 44.78% para el 2005 y finalmente el 45.32% en 2008. Domina la presencia de Manglar y Popal-Tular. En tanto que el grupo No Forestal ocupa el 28.90% en el año 2000, sube a 29.35% en 2005 y a 30.20% en 2008, en donde el uso de suelo Agrícola es el que esta mas representado.

Es importante señalar que la categoría Cuerpo de Agua tiene un importante incremento del 2000 (4.45%) al 2005 (5.91%) y en 2008 disminuye (4.52%). La presencia del huracán Stan en los días 3, 4 y 5 de octubre del 2005, provocaron el crecimiento de los causes de ríos Uluapa, Cacaluta, Novillero, San Nicolas, entre otros, los cuales además arrastraron materiales de las partes altas, y esto generó la transformación tanto en cubiertas Forestales como el No forestales. Las áreas Agrícolas y el Polpal-Tular, fueron los que tuvieron mayor afectación. Las imágenes SPOT5 son del 25 de octubre del 2005 por lo tanto el impacto de Stan pudo medirse casi en tiempo real.

La tasa de transformación tiene una tendencia general a disminuir, sin embargo dentro del periodo 2000-2005 tiene un repunte hasta el 0.96%, pero esto debido a los efectos provocados por la presencia del huracán Stan. En el 2008 la tasa bajó al 0.40% lo cual podría mantenerse en un futuro.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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