



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”***

***Complejo Sian Ka'an-.Uaymil***



**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

<b><i>Introducción</i></b>	<b>4</b>
<b><i>Antecedentes</i></b>	<b>8</b>
<b><i>Objetivo</i></b>	<b>10</b>
<b><i>Área de Estudio</i></b>	<b>10</b>
<b><i>Material</i></b>	<b>14</b>
<b>Polígono oficial</b>	<b>14</b>
<b>Imágenes de satélite</b>	<b>14</b>
<b>Modelo Digital de Elevación (MDE)</b>	<b>15</b>
<b><i>Metodología</i></b>	<b>15</b>
<b>Rectificación de imágenes de satélite</b>	<b>16</b>
<b>Clasificación de imágenes de satélite</b>	<b>17</b>
<b>Áreas de cambio</b>	<b>19</b>
<b>Tasa de Transformación</b>	<b>21</b>
<b><i>Resultados</i></b>	<b>23</b>
<b>Imágenes de satélite</b>	<b>23</b>
<b>Uso del Suelo y Vegetación</b>	<b>25</b>
<b>Áreas de Cambios</b>	<b>31</b>
<b>Tasa de Transformación del Hábitat.</b>	<b>35</b>
<b><i>Conclusiones</i></b>	<b>37</b>
<b><i>Bibliografía</i></b>	<b>38</b>

## 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 área de interés para el presente trabajo es el complejo “Sian Ka’an-Uaymil-Arrecifes de Sian Ka’an” es un conjunto de ANP’s, que incluye las reservas de la Biosfera de Sian Ka’an y Arrecifes de Sian Ka’an, y el Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil.

En el año del 2003 se realizó la primera evaluación del complejo “Sian Ka’an-Uaymil-Arrecifes de Sian Ka’an” (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 complejo “Sian Ka’an-Uaymil-Arrecifes de Sian Ka’an” indican que para el año de 1976 contaba con una superficie transformada de 2,119 ha que corresponde al 0.46% de la superficie total terrestre, sin embargo para el año 2000, no se reporta área transformada. En el período analizado entre 1976 y 2000, se estima una tasa de -0.019%, equivalente a -88 ha/año, transformándose en 24 años 2,119 ha. En este periodo la selva alta y mediana subperennifolia y el manglar recuperaron la superficie afectada por los incendios.

El análisis por período muestra una disminución continua en la tasa de transformación del hábitat; siendo el período 1986-1992 el que presenta la tasa de transformación más alta con  $-0.043\%$  (-148 ha/año), siendo este periodo el de mayor recuperación.

## Objetivo

- ◆ Estimar y/o actualizar la tasa de transformación del hábitat del “Sian Ka’an-Uaymil-Arrecifes de Sian Ka’an” correspondiente a la Región Península de Yucatán y Caribe Mexicano, para los años 2000, 2005 y 2008.

## Área de Estudio

El complejo “Sian Ka’an-Uaymil-Arrecifes de Sian Ka’an” incluye la Reserva de la Biosfera de Sian Ka’an, decretado el 20 de enero de 1986, con 3 zonas núcleo, el Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil decretado el 17 de noviembre de 1994 y la Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka’an decretado en 02 de febrero de 1998, con una superficie total calculada de estas ANP’s de 651,984 Ha. El complejo se ubica en el estado de Quintana Roo, en los municipios de Felipe Carrillo Puerto, Solidaridad (antes Cozumel) y Otón P. Blanco (Figura 1).

Ocupa una superficie calcárea parcialmente emergida que desciende gradualmente hacia el mar, formando un gradiente que va de sitios secos hasta inundables. En este gradiente se desarrollan las selvas medianas, selvas bajas, selvas inundables, marismas y manglares. También existen lagunas salobres, zonas oceánicas someras y arrecifes coralinos.

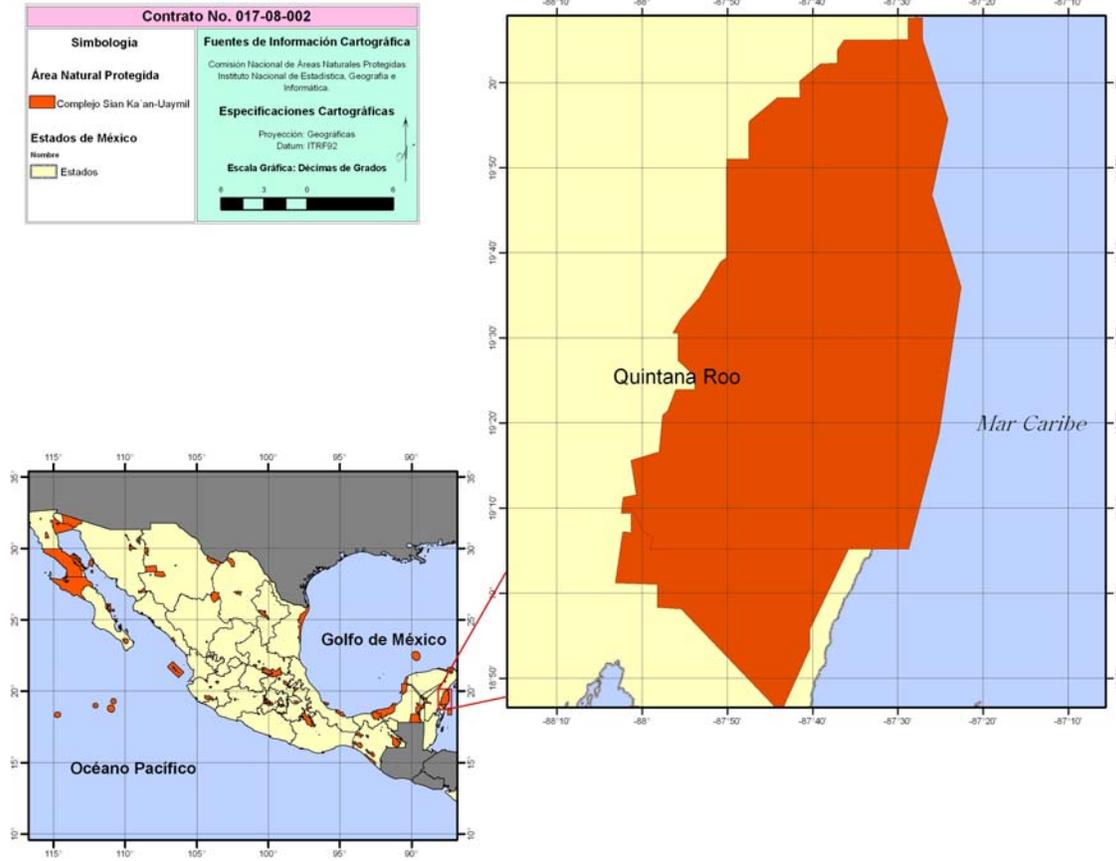


Figura 1.- Ubicación geográfica del complejo Sian ka'an.

El área presenta las oquedades y desniveles característicos del sustrato calcáreo y contiene variaciones como son los cenotes, petenes, lagunas, cayos y ojos de agua.

Desde el punto de vista biogeográfico, el complejo Sian Ka'an forma parte de la provincia de la península de Yucatán, en la región Caribeña y dentro de la región Neotropical (Rzedowski, 1978). Geológicamente, la península de Yucatán es un área de formación reciente. La barrera de arrecifes de Sian Ka'an, con cerca de 110 Km de longitud, forma parte de la segunda cadena arrecifal más larga del mundo.

Los suelos en Sian Ka'an son generalmente más pobres que los del resto de la Península; son también más jóvenes y poco evolucionados, pedregosos, someros, fácilmente degradables y con potencial forestal.

En Quintana Roo no hay corrientes superficiales con excepción del río Hondo, que lo separa de Belice. El agua de lluvia se filtra y da origen a las corrientes subterráneas que se manifiestan en los múltiples cenotes, lagunas y aguadas en todo el estado. La superficie inundada a finales de la temporada lluviosa es superior al 70% en la parte terrestre. En la época seca un 20% de esta permanece inundada y corresponde a las zonas de manglar chaparro donde la concentración salina es elevada. La permeabilidad del sustrato determina la inexistencia de ríos y corrientes superficiales, salvo en aquellos lugares muy bajos donde el nivel topográfico corta el manto freático.

El clima de Quintana Roo es en general cálido subhúmedo. La temperatura media anual es de 26° C y la precipitación media es de 1,300 mm anuales. Los meses más calientes son julio y agosto y el más frío es enero. La oscilación térmica anual es de 4.8° C.

Se distingue una época de sequía de diciembre a abril. La región está comprendida dentro de la zona ciclónica tropical del Caribe, y los vientos dominantes tienen una dirección este-sureste. Exceptuando la presencia eventual de los ciclones, el clima de Sian Ka'an es benévolo y apto para las actividades humanas. Se clasifica como Aw, cálido sub-húmedo con lluvias en verano. La temperatura media mensual es siempre superior a 22° C, la media anual de 26.5° C. No se presentan heladas.

Sian Ka'an incluye las principales comunidades propias de la península de Yucatán y el Caribe y se sitúa como una zona de transición que permite una diversidad de ambientes en donde se desarrollan organismos tanto mesoamericanos como antillanos. Los tipos principales de vegetación son: Selva subperennifolia y subcaducifolia, Selvas bajas inundables, Tasistales, Pantanos de zacates, Manglares de franja, Manglar chaparro, vegetación de dunas, vegetación de cayos y áreas perturbadas

En lo que se refiere al régimen de propiedad, el 99% de la tierra en Sian Ka'an es de propiedad nacional. Solamente en la franja costera que enfrenta al mar abierto

hay propiedades privadas. Las costas en las bahías son de propiedad nacional. El límite occidental de la Reserva está marcado por ejidos del municipio de Felipe Carrillo Puerto y del municipio de Cozumel. Los únicos sectores organizados entre la población de Sian Ka'an son los pescadores.

Respecto a las vías de comunicación, Sian Ka'an está dividida por el camino de Felipe Carrillo Puerto a Vigía Chico que se continúa por un ramal hasta la costa que enfrenta a Punta Allen. Este camino cuenta en la actualidad con un ramal de terracería en dirección noroeste hacia el pueblo de Chumpón ya fuera de los límites de la Reserva. Existen otros dos caminos costeros de terracería que comunican a Punta Allen con Tulum y a Punta Herrero con Majahual respectivamente. Ningún tramo de estos caminos está pavimentado.

La única población con servicios de agua potable y alcantarillado es Punta Allen en el resto de Sian Ka'an no existe un servicio de agua potable. Esta se extrae de pozos someros.

La pesca es la actividad económica más importante de Sian Ka'an y la que ocupa a mayor número de habitantes. La pesca deportiva se practica esporádicamente como actividad ligada al turismo.

La principal influencia en la conservación a largo plazo de Sian Ka'an es el turismo. De manera particular, la creación del corredor Cancún-Tulum, el cual consiste de una franja costera dedicada al turismo y cuya extensión llega hasta el límite de la zona arqueológica de Tulum y la Reserva. El inicio de las actividades turísticas en la Reserva, hoy todavía muy incipientes, se remonta a principios de los setenta cuando las ruinas de Tulum comenzaron a atraer turistas nacionales y extranjeros (SEMARNAP, 1996).

## 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	19	46	22-jun-00	30 M	7
ETM	19	47	22-jun-00	30 M	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 8 imágenes fueron utilizadas para el cubrimiento completo del área de estudio (Tabla 2).

Tabla 2.- Imágenes de satélite SPOT para el Complejo Sian Ka'an

Satélite	K	J	Fecha	Resolución (metros)	Tipo	Nivel de Procesamiento
Spot 5	611	310	18-Ene-05	10	Multiespectral	1A
Spot 5	612	312	11-Mar-05	10	Multiespectral	1A
Spot 5	612	311	11-Mar-05	10	Multiespectral	1A
Spot 5	612	310	11-Mar-05	10	Multiespectral	1A
Spot 5	611	310	29-Ene-08	10	Multiespectral	1A
Spot 5	611	311	22-Nov-08	10	Multiespectral	1A
Spot 5	611	311	29-Ene-08	10	Multiespectral	1A
Spot 5	513	312	07-Mar-08	10	Multiespectral	1A

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

El complejo Sian ka'an pertenece a la provincia geológica de la Península de Yucatán, cuya principal característica es relieve plano y que su superficie está constituida principalmente por piedra caliza, misma que impide la formación de corrientes superficiales. Por esta razón el uso de un MDE no es indispensable para el proceso de corrección geométrica de las imágenes.

### **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, pero en este caso dadas las condiciones de relieve del Complejo Sian Ka'an, no fue necesario utilizarlo. La información de las efemérides incluye de la posición del satélite al momento de capturar las escenas SPOT, permite realizar el proceso de corrección 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 geométricamente 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 mm<sup>2</sup> a 10,000 metros cuadrados para una escala de 1:50,000. El tratamiento digital permite realizar operaciones complejas o inaccesibles al análisis visual, sin

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

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 Primario (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:

$\delta$  = tasa de cambio

$S_1$  = superficie forestal, al inicio del periodo

$S_2$  = superficie forestal, al final del periodo

$n$  = número de años entre las dos fechas

Utilizando 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 Markov, 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-16 Norte.

La imagen Landsat ETM del año 2000, se trabajo 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 principalmente los manglares y selvas, los tonos cafés el popal- y tulares. Las imágenes Landsat presentan un porcentaje de nubosidad muy bajo, los cuales se encuentran principalmente al Sur del complejo.

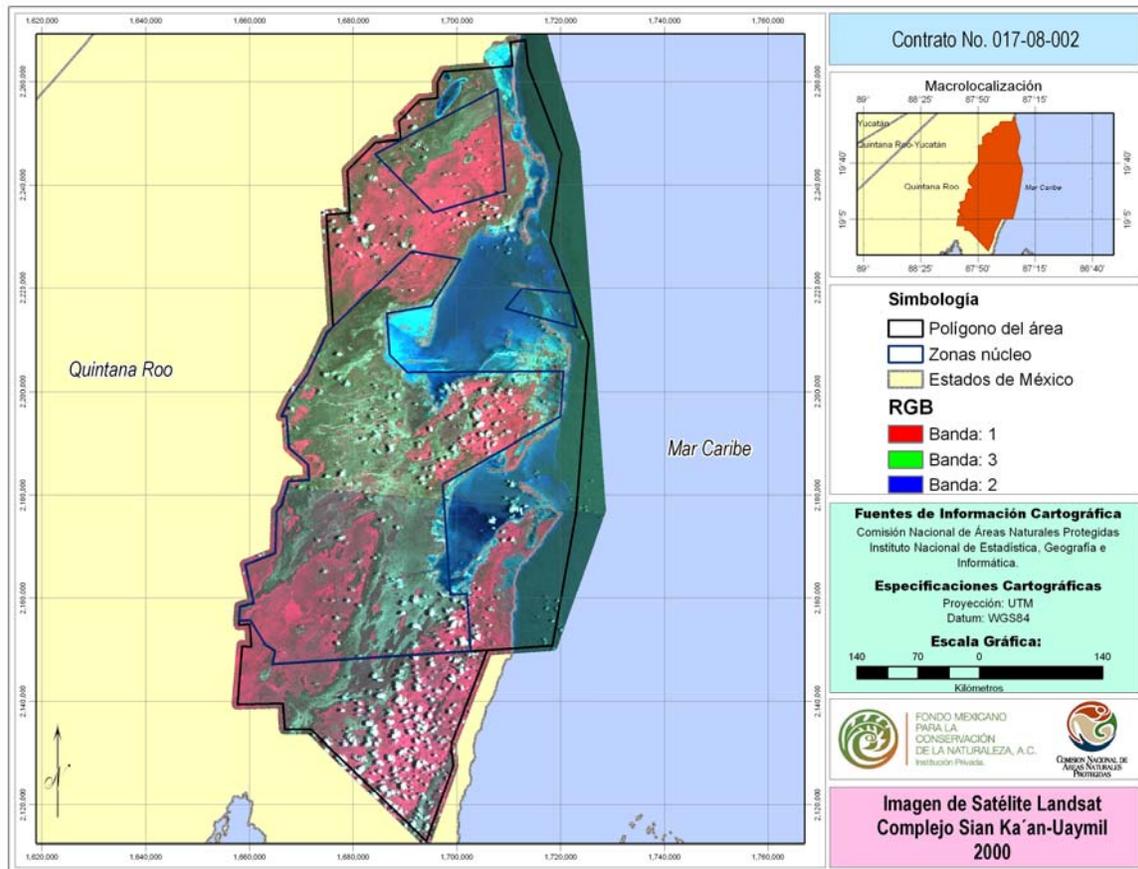


Figura 2.- Imagen de satélite Landsat ETM 2000, falso color RGB 4,3,2.

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 3 y 4). La imagen del 2005 presenta un porcentaje de nubosidad muy bajo, con algunos cúmulos de nubes en la región Sur del Complejo, mientras que la imagen del 2008 sucede algo similar.

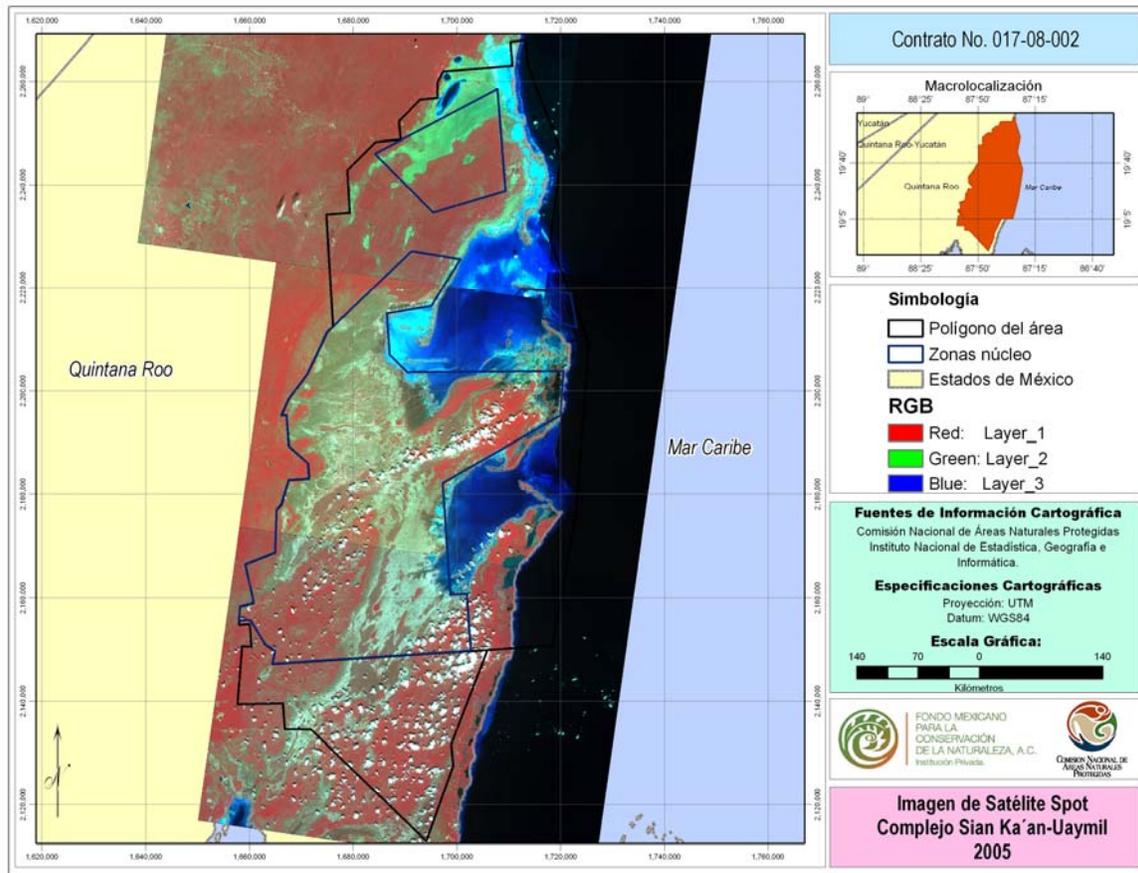


Figura 3.- Imagen de satélite SPOT 2005, falso color RGB 1,2,3.

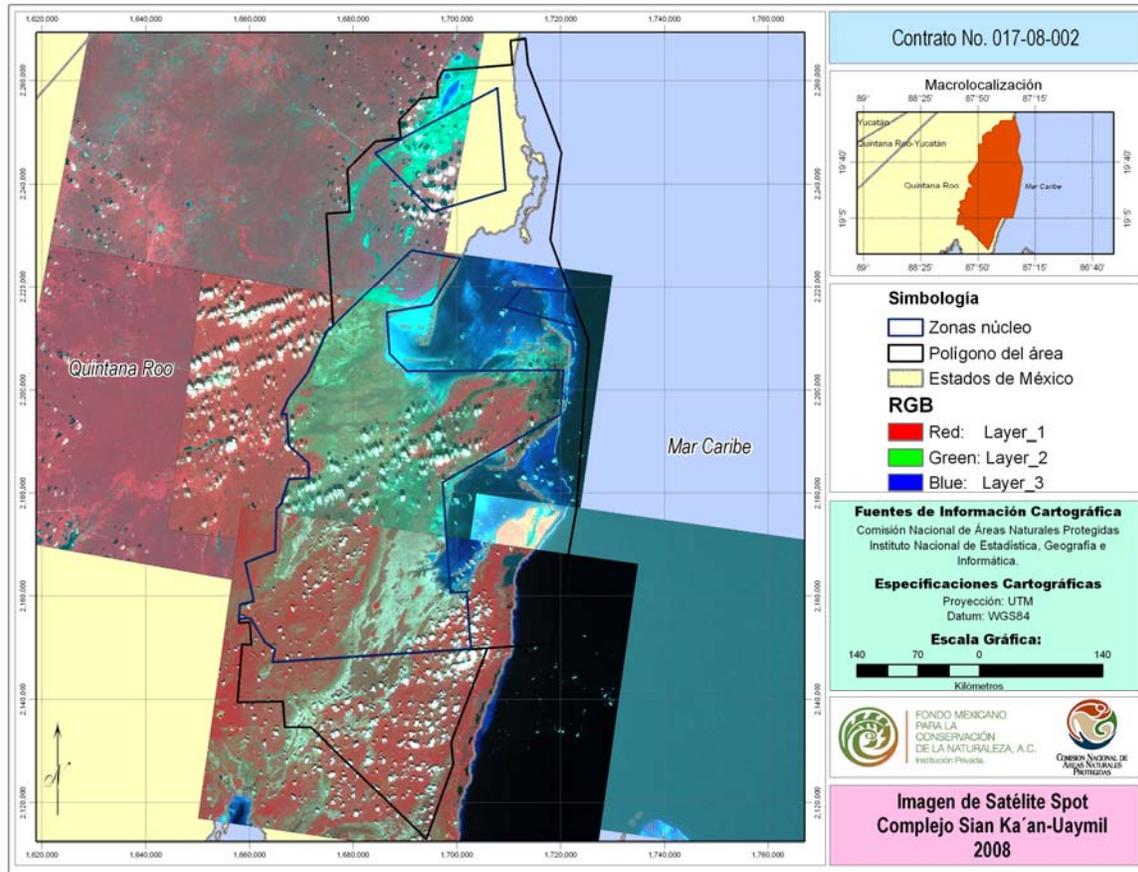


Figura 4.- Imagen de satélite SPOT 2008, falso color RGB

### **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 y 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. La clase Forestal ocupa para cada fecha alrededor del 68% de la superficie total del Complejo Sian Ka'an, esta representado en su mayoría por el conjunto de Popal-Tular, Selva Mediana Perennifolia, y Selva Baja Espinoza Subperennifolia.

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	%
<b>FORESTAL</b>						
Área sin vegetación aparente	234	0.04	234	0.04	234	0.04
Área sujeta a inundación	3,767	0.58	3,767	0.58	3,767	0.58
Vegetación de duna costera	1,687	0.26	1,680	0.26	1,680	0.26
Popal-Tular	155,221	23.81	155,159	23.80	154,781	23.74
Manglar	57,454	8.81	57,454	8.81	57,454	8.81
Selva mediana subperennifolia	111,292	17.07	111,213	17.06	111,201	17.06
Selva baja espinosa subperennifolia	114,930	17.63	114,922	17.63	114,757	17.60
Selva mediana subperennifolia/vs	35	0.01	9	0.00	13	0.00
Selva baja espinosa subperennifolia/vs	83	0.01	300	0.05	300	0.05
<b>Subtotal</b>	<b>444,703</b>	<b>68.21</b>	<b>444,739</b>	<b>68.21</b>	<b>444,187</b>	<b>68.13</b>
<b>NO FORESTAL</b>						
Zona agrícola	90	0.01	175	0.03	174	0.03
Área impactada por incendio	225	0.03	53	0.01	595	0.09
Pastizales	86	0.01	137	0.02	147	0.02
Asentamientos humanos	31	0.00	31	0.00	31	0.00
<b>Subtotal</b>	<b>432</b>	<b>0.07</b>	<b>395</b>	<b>0.06</b>	<b>947</b>	<b>0.15</b>
<b>OTRAS COBERTURAS</b>						
Cuerpos de agua	206,849	31.73	206,849	31.73	206,849	31.73
<b>Subtotal</b>	<b>206,849</b>	<b>31.73</b>	<b>206,849</b>	<b>31.73</b>	<b>206,849</b>	<b>31.73</b>
<b>TOTAL</b>	<b>651,984</b>	<b>100.00</b>	<b>651,984</b>	<b>100.00</b>	<b>651,984</b>	<b>100.00</b>

El grupo No Forestal esta constituido por Zona Agrícola que de la primera fecha con el 0.01% pasa al 0.03% en el 2008, Pastizales que va del 0.01% en el 2000 al 0.02%, los Asentamientos Humano no se detectaron modificaciones. Lo que corresponde a Áreas Impactadas por Incendios, existe una dinámica alta pues en el 2000 representaba el 0.03%, para el 2005 bajó al 0.01% y en el 2008 se incrementó hasta el 0.09%.

Los mapas (Figura 5) 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.

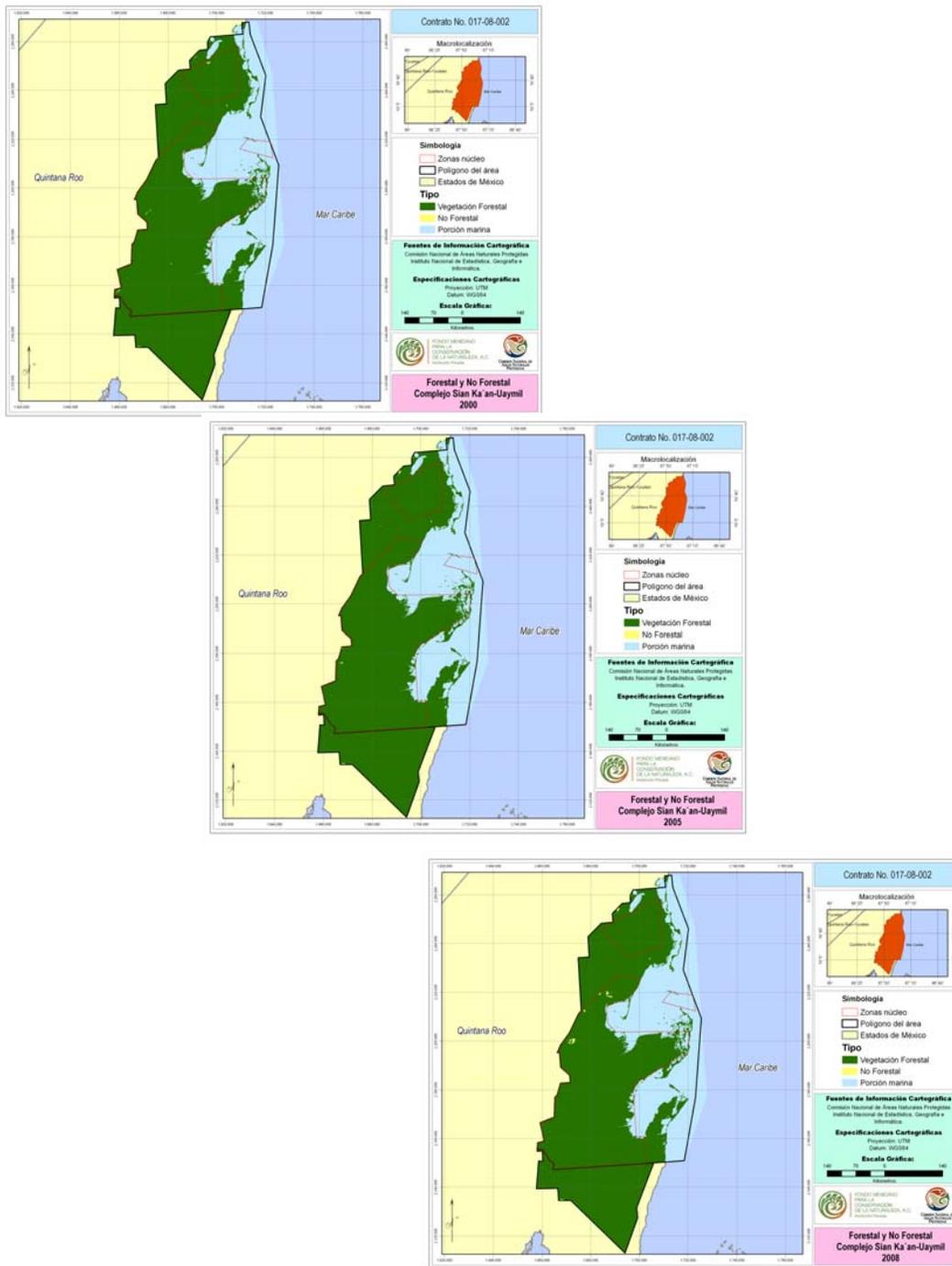


Figura 5.- Grupo Forestal-No Forestal año 2000, 2005 y 2008

La tabla 4 muestra los datos de superficie de los años 70's hasta el 2008. Antes del decreto de las Reservas de la Biosfera Sian Ka'an y Arrecifes de Sian Ka'an, así como del Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil la cubierta Forestal ocupaba una superficie de 458,599 hectáreas, para el año 2008 se registra un

aumento hasta las 444,187 hectáreas, lo que representa que en 32 años se han transformado un total de 14,412 hectáreas.

Año	Forestal (Ha)	No Forestal (Ha)
1976	458,599	2,119
1980	445,116	19
1990	444,855	279
2000	444,703	432
2005	444,739	395
2008	444,187	947

La grafica (Fig.6) muestra la tendencia que se ha presentado de la superficie de la cobertura Forestal y No Forestal con datos obtenidos a partir de los años 70's hasta el 2008. Se presenta una tendencia constante a reducir las áreas no forestales e incrementar las zonas de recuperación.

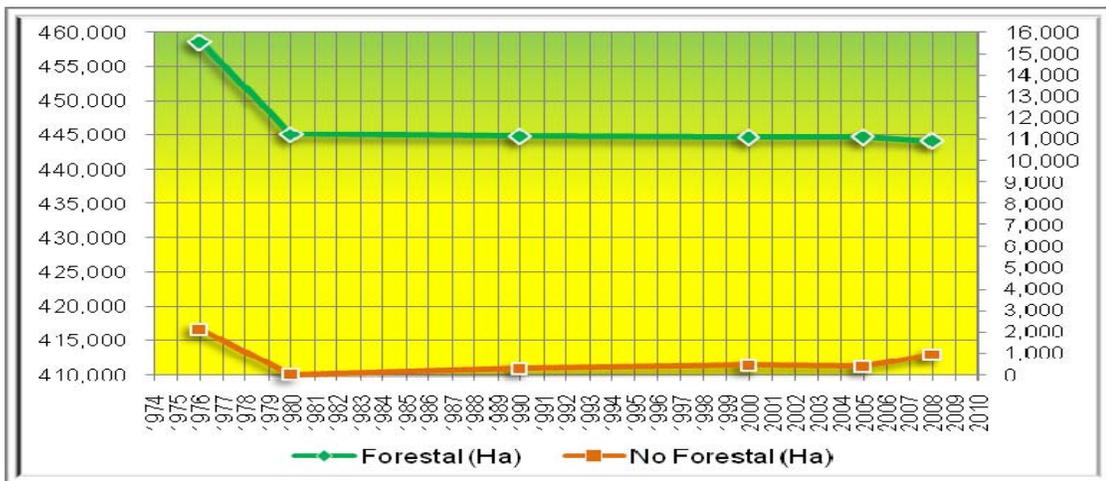


Figura 7.- Gráfica de comportamiento Forestal-No Forestal de 1975 al 2008

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 en tonos verdes corresponden manglar y popal-tular, mientras que las selvas están representadas por los colores rosados 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. Finalmente las Áreas Impactadas por Incendios son de color rojo (Fig. 7, 8 y 9).

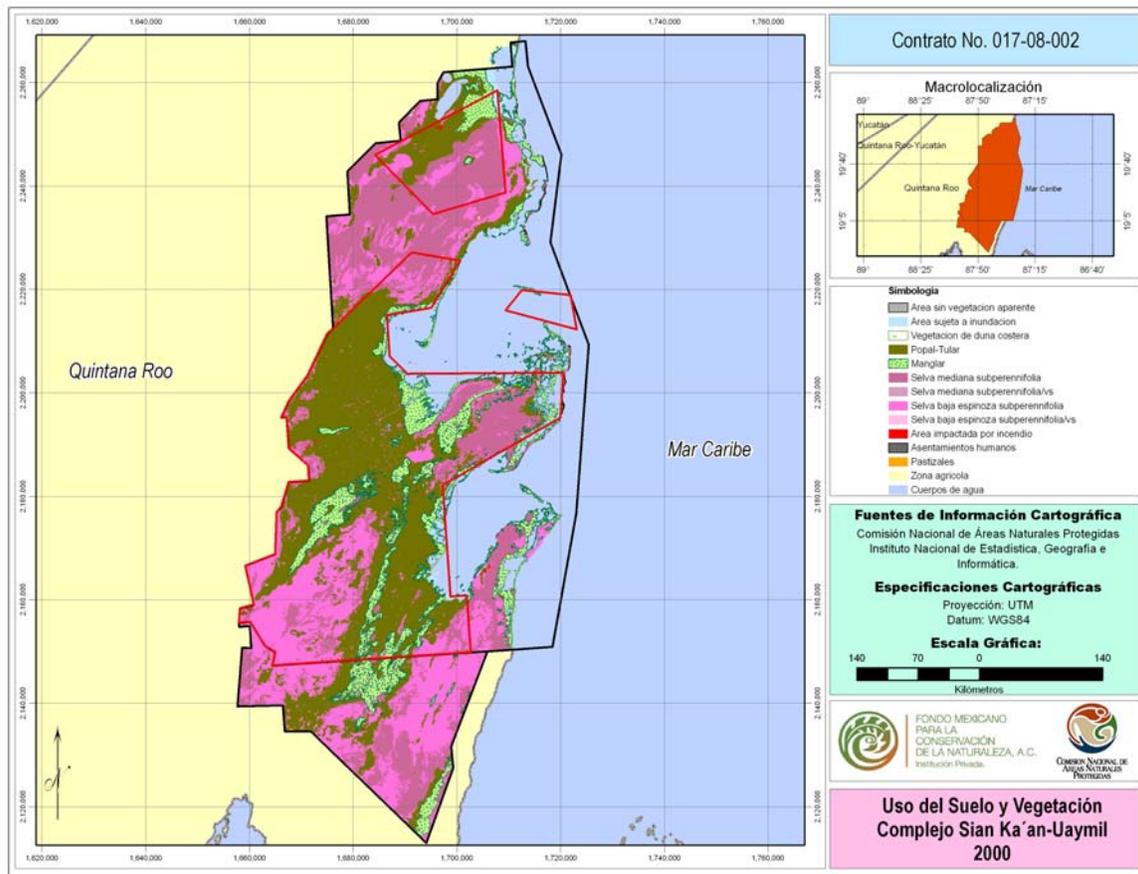


Figura 7.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen Landsat ETM 2000.

Del complejo Sian Ka'an, la Reserva de la Biosfera Sianka'an representa casi el total de superficie terrestre del área, por lo cual, la dinámica de cambio de las cubiertas del suelo, se presentan en esta zona.

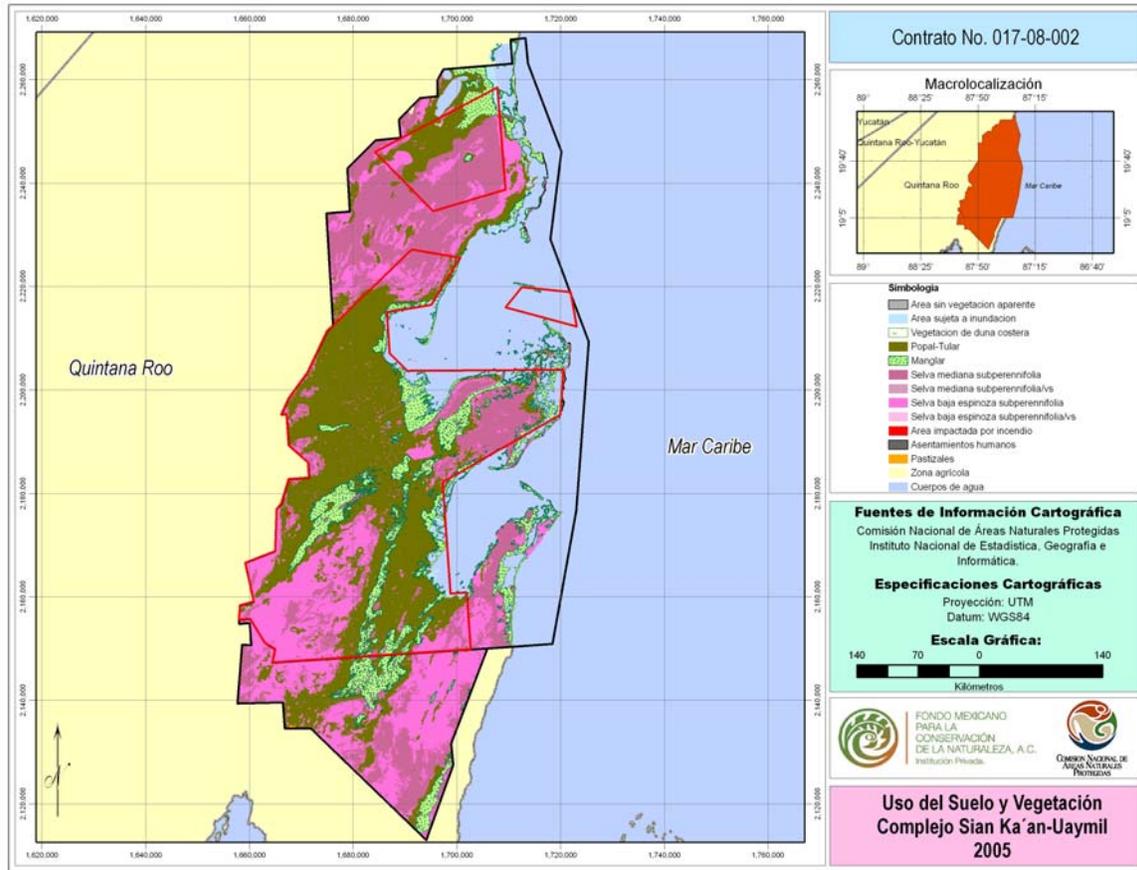


Figura 8.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2005.

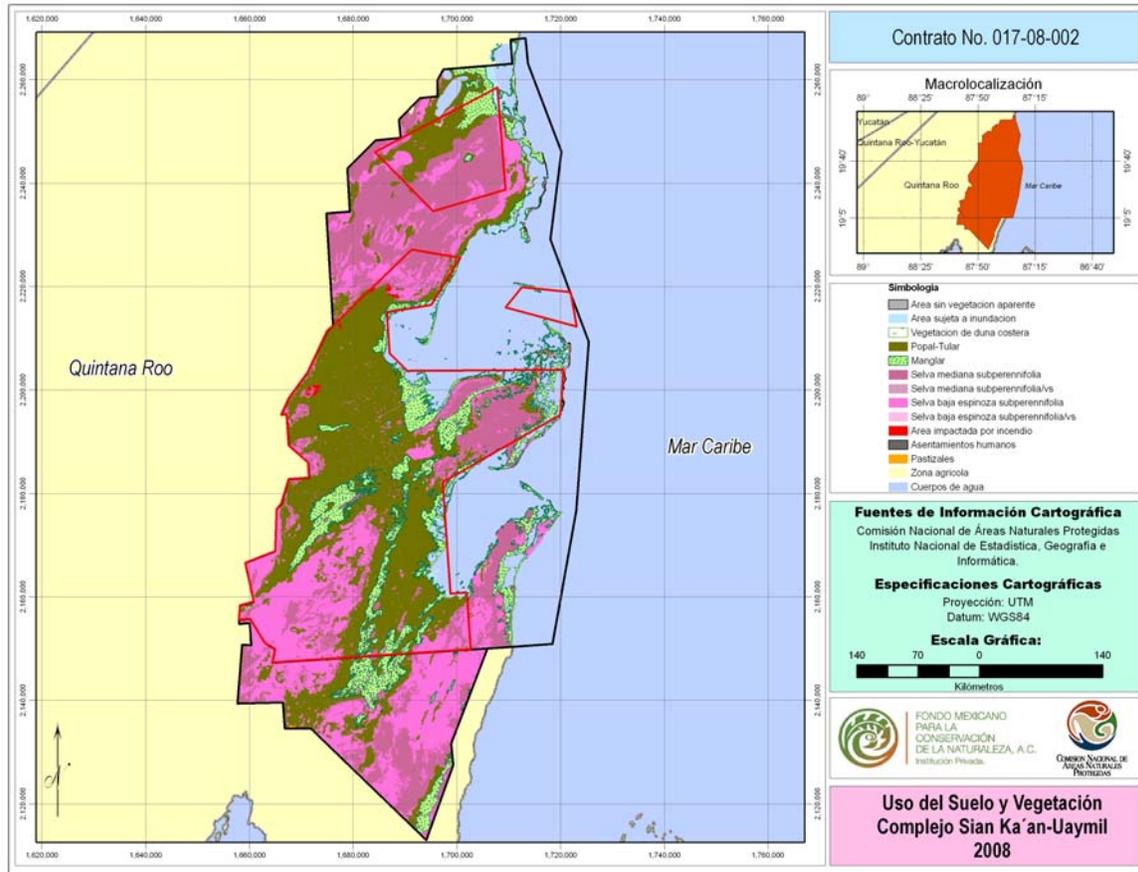


Figura 9.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2008.

### Áreas de Cambios

En la matriz de transición (Tabla 5 y 6) se reflejan los cambios entre cada periodo. Los dos periodos 2000-2005 y 2005-2008 presentan un comportamiento donde la vegetación primaria y secundaria se ven afectadas por las categorías de deforestación. Las Áreas Impactadas por Incendios aumentan en el segundo periodo, afectando a las áreas de Popal-Tular y a la Selva Baja Espinoza.

Tabla 5.- Matriz de transición entre el periodo 2000-2005 para Complejo Sian Ka'an

Matriz de Cambio	01Área sin vegetación aparente	02Área sujeta a inundación	03Vegetación de duna costera	04Popal-Tular	05Manglar	06Selva mediana subperennifolia	07Selva baja espiñoza subperennifolia	081Selva mediana subperennifolia/vs	082Selva baja espiñoza subperennifolia/vs	08Zona agrícola	09Pastizales	10Asentamientos humanos	091Área impactada por incendio	11Cuerpos de agua	Total 2000
Área sin vegetación aparente	234														234
Área sujeta a inundación		3,767													3,767
Vegetación de duna costera			1,680							1	6				1,687
Popal-Tular				155,159							12		49		155,221
Manglar					57,454										57,454
Selva mediana subperennifolia						111,213		0		50	25		3		111,292
Selva baja espiñoza subperennifolia							114,922			1	6		0		114,930
Selva mediana subperennifolia/vs								1		34					35
Selva baja espiñoza subperennifolia/vs									83						83
Zona agrícola										90					90
Pastizales											86				86
Asentamientos humanos												31			31
Área impactada por incendio								8	217						225
Cuerpos de agua														206,849	206,849
Total 2005	234	3,767	1,680	155,159	57,454	111,213	114,922	9	300	175	137	31	53	206,849	651,984

Tabla 6.- Matriz de transición entre el periodo 2005-2008 para el Complejo Sian Ka'an.

Matriz de Cambio	01Área sin vegetación aparente	02Área sujeta a inundación	03Vegetación de duna costera	04Popal-Tular	05Manglar	06Selva mediana subperennifolia	07Selva baja espiñoza subperennifolia	081Selva mediana subperennifolia/vs	082Selva baja espiñoza subperennifolia/vs	08Zona agrícola	09Pastizales	10Asentamientos humanos	091Área impactada por incendio	11Cuerpos de agua	Total 2005
Área sin vegetación aparente	234														234
Área sujeta a inundación		3,767													3,767
Vegetación de duna costera			1,680												1,680
Popal-Tular				154,732									427		155,159
Manglar					57,454										57,454
Selva mediana subperennifolia						111,201					10		2		111,213
Selva baja espiñoza subperennifolia				0			114,757						166		114,922
Selva mediana subperennifolia/vs								9							9
Selva baja espiñoza subperennifolia/vs									300						300
Zona agrícola								1		174					175
Pastizales											137				137
Asentamientos humanos												31			31
Área impactada por incendio				49				3	0						53
Cuerpos de agua														206,849	206,849
Total 2008	234	3,767	1,680	154,781	57,454	111,201	114,757	13	300	174	147	31	595	206,849	651,984

Las tablas 7 y 8 muestran la superficie de las coberturas Forestales afectadas por las No Forestales. En el periodo 2000-2005, la Zona Agrícola avanza sobre las Selva Mediana Subperennifolia primaria y con vegetación secundaria. Los Pastizales pierden superficie respecto a Popal-Tular y Selva Mediana Subperennifolia. Por último, las Áreas Impactadas por Incendios tienen un avance importante sobre el Popal-Tular, pero se marca una recuperación de la Selva Baja Espinoza Subperennifolia con vegetación secundaria. En total en el periodo se transformaron 36.75 Ha que representan 7.35 Ha/Año.

Tabla 7.- Superficie Forestal afectadas por No Forestal periodo 2000-2005.

Transformación periodo 2000-2005	Zona agrícola	Pastizales	Area impactada por incendio
Vegetacion de duna costera	-1	-6	
Popal-Tular		-12	-49
Selva mediana subperennifolia	-50	-25	-3
Selva baja espinoza subperennifolia	-1	-6	0
Selva mediana subperennifolia/vs	-34		8
Selva baja espinoza subperennifolia/vs			217
<i>Subtotal</i>	-85	-50	172
<b>Total</b>	<b>36.75</b>	<b>HA en el periodo</b>	
<b>Total</b>	<b>7.3498</b>	<b>HA por año</b>	

Para el periodo 2005-2008, los Pastizales afectan a la Selva Mediana Subperennifolia. Mientras que las Áreas Impactadas por Incendios, avanzó sobre Popal-Tular y la Selva Baja Espinoza Subperennifolia principalmente. En total en el periodo se transformaron 552.17 Ha, que representan 184 Ha/Año.

Tabla 8.- Superficie Forestal afectadas por No Forestal periodo 2005-2008.

Transformación periodo 2005-2008	Zona agrícola	Pastizales	Area impactada por incendio
Popal-Tular			-378
Selva mediana subperennifolia	1	-10	-2
Selva baja espinoza subperennifolia			-166
Selva mediana subperennifolia/vs			3
Selva baja espinoza subperennifolia/vs			0
<i>Subtotal</i>	1	-10	-543
Total	-552.17	HA en el periodo	
Total	184	HA por año	

### ***Tasa de Transformación del Hábitat.***

En la tabla 9, se puede observar que dentro del periodo 2000-2005 se recuperaron 36.75 Ha y para el 2005-2008 se perdieron 82.552.17 Ha, lo que representa una tasa de 0.00002% para el periodo 2000-2005 y 0.04% para el periodo 2005-2008.

Tabla 9.- Tasa de transformación del hábitat

Periodo	s1	s2	Cambio (Ha)	Año	Tasa de cambio	Tasa de cambio anual (%)	Ha/Año
2000-2005	444,703	444,739	-36.75	5	-0.00002	0.00	-7.35
2005-2008	444,739	444,187	552.17	3	0.00041	0.04	184.06
<b>2000-2008</b>	<b>444,703</b>	<b>444,187</b>	<b>515.42</b>	<b>8</b>	<b>0.00014</b>	<b>0.01</b>	<b>64.43</b>

Entre los dos periodos se presenta un incremento, aunque el comportamiento histórico presenta una disminución, como lo muestra el conjunto de datos de las fechas anteriores (Tabla 10). La tendencia general es a disminuir la tasa de transformación a través del tiempo. En el último periodo existe un incremento debido a las Áreas Impactadas por Incendios, pero de acuerdo a las condiciones naturales del área, y a lo que ha pasado en los periodos anteriores, en los próximos años podría revertir esta tendencia (Fig. 10).

Tabla 10.- Tasa de transformación del hábitat histórica

Periodo	s1	s2	Cambio (Ha)	Año	Tasa de cambio	Tasa de Cambio anual (%)
1976-1980	458,599	445,116	13,483	4	0.007433	0.743
1980-1990	445,116	444,855	260	10	0.000058	0.006
1990-2000	444,855	444,703	153	10	0.000034	0.003
2000-2005	444,703	444,739	-37	5	-0.000017	-0.002
2005-2008	444,739	444,187	552	3	0.000414	0.041



Figura 10.- 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 68.21% en el año 2000 y 2005, para el 2008 disminuye a 68.13. Domina la presencia de Popal-Tular, las Selvas medianas y bajas junto con el Manglar. En tanto que el grupo No Forestal ocupa el 0.07% en el año 2000, disminuye al 0.06% en 2005 e incrementa al 15% en 2008, en donde las Áreas Impactadas por Incendios son las que mayor presencia tienen.

La tasa de transformación tiene una tendencia general a disminuir, un que en el último del periodo, 2005-2008 tiene un repunte hasta el 0.041%, que se debe a los efectos provocados por la presencia de incendios.

El Complejo Sian Ka'an, en su porción terrestre se encuentra en constante riesgo por la presencia de incendios, los cuales son recurrentes cada año en temporada de secas. Sin embargo dadas las condiciones naturales del área, las cuales incluyen estar en zona ciclónica tropical del Caribe y un clima cálido sub-húmedo, favorecen a la recuperación de las cubiertas forestales afectadas. Esto explica la dinámica que existe entre los incendios y el resto de las cubiertas forestales.

## 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.