



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 Montes Azules*



RESERVA DE LA BIOSFERA  
MONTES AZULES

**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>Introducción</b>	<b>4</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>8</b>
<b>Objetivo</b>	<b>10</b>
<b>Área de Estudio</b>	<b>10</b>
<b>Material</b>	<b>13</b>
<b>Polígono oficial</b>	<b>13</b>
<b>Imágenes de satélite</b>	<b>13</b>
<b>Modelo Digital de Elevación (MDE)</b>	<b>15</b>
<b>Modelo Digital de Elevación (MDE)</b>	<b>15</b>
<b>Metodología</b>	<b>16</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>Resultados</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 cambio</b>	<b>31</b>
<b>Tasa de Transformación del Hábitat.</b>	<b>36</b>
<b>Conclusiones</b>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
<b>Bibliografía</b>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>

## 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 protegida (FANP, 2008).

El programa de monitoreo permite medir los avances tanto del impacto en la conservación y uso sustentable de los recursos naturales, como el desempeño de los diferentes componentes. Este esquema 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 las actividades del 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 (por ejemplo: 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 del personal del área) 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 pueden ser 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 Montes Azules, ubicada dentro de la Selva Lacandona, es zona es una de las regiones de mayor biodiversidad en México, ha identificado como una de las zonas prioritarias para la conservación. Esta región presenta una variedad de condiciones físicas y biológicas. La mayor parte de la vegetación original de la reserva corresponde a las selvas alta y mediana perennifolia.

En el año 2003 se realizó la primera evaluación de la reserva de la biosfera Montes Azules (FANP-CONANP, 2003), en donde se emplearon imágenes de satélite Landsat correspondiente al año 1996 y 2000. Los resultados obtenidos para el año 2000 indican que la reserva cuenta con una superficie transformada de 31,288 Ha y que en el periodo 1996-2000 se presentó una tasa de transformación de 0.33% que equivale a 974 Ha/año. Donde el avance del pastizal inducido y la frontera agrícola se presenta principalmente sobre la selva alta y mediana perennifolia y el bosque de pino.

## Objetivo

- ◆ Estimar y/o actualizar la tasa de transformación del hábitat de la Reserva de la Biosfera Montes Azules 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 Montes Azules se encuentra dentro de la Selva Lacandona, una de las regiones de mayor biodiversidad en México y que se ha identificado como una de las zonas prioritarias para la conservación. Ocupa una superficie de 324,641 Ha. Se encuentra en la porción Este del estado de Chiapas entre los municipios de Maravilla Tenejapa y Ocosingo (Figura 1).

La reserva presenta variaciones altitudinales que van de los 200 msnm en el Río Lacantún y una altitud máxima de 1,500 msnm en la región norte de la Reserva, en la meseta del Ocotul. Se registran precipitaciones entre 2,500 y 3,500 mm, en promedio, la precipitación media anual para toda la región es de 2,226 mm.

La totalidad de la reserva se ubica en la cuenca del Río Lacantún, la cual es importante no sólo por que es uno de los principales factores del equilibrio ecológico de los ecosistemas, sino por que, los Ríos Lacantún, Jataté y Lacanjá son los límites de la reserva, lo que ha permitido frenar las incursiones de asentamientos humanos al convertirse en frontera natural de la misma.

Adicionalmente a las corrientes superficiales, se localizan cuerpos de agua de diferentes extensiones, que por las condiciones particulares de solubilidad de la roca caliza han formado oquedades, que debido a que están alimentadas por las aguas subterráneas, permiten la conformación de lagos de origen cárstico y

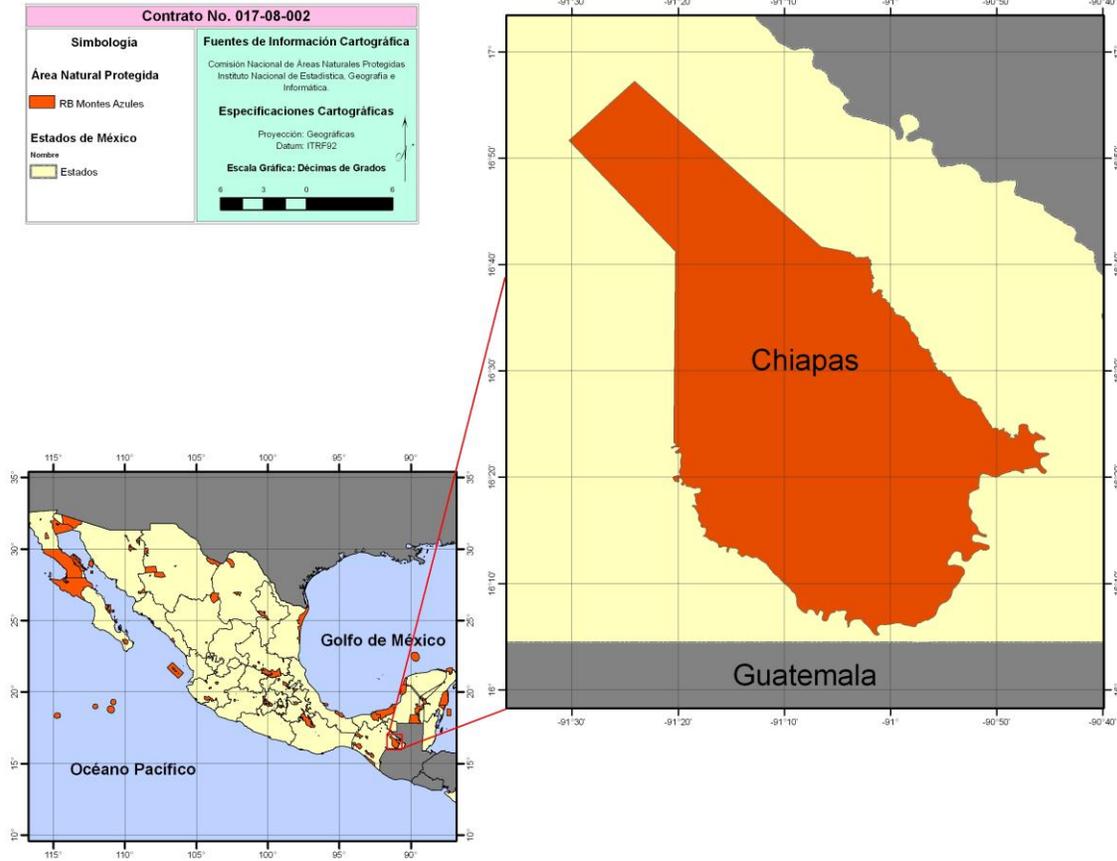


Figura 1.- Ubicación geográfica de la reserva de la biosfera Montes Azules, Chiapas.

dolinas. El principal grupo representativo de estas características, es el complejo lagunar ubicado en la porción norte de la reserva, sin embargo las Lagunas Miramar y Lacanjá de mayores dimensiones, se localizan en la porción centro-oeste y noroeste de la reserva.

La mayor parte de la vegetación original de la reserva corresponde a la selva alta y mediana perennifolia. Sin embargo, también se encuentran otros tipos de vegetación. Para la Selva Lacandona se reportan un total de 3,400 especies de plantas vasculares distribuidas en 61 familias. De las cuales, 487 son nuevos registros para el área y 38 para México. Para la zona de Chajul se reportan 392 especies leñosas, las cuales se distribuyen en 76 familias, conformadas por 194 especies arbóreas, 126 arbustos y 72 lianas; de las cuales al menos 23 se encuentran bajo riesgo de amenaza, en peligro de extinción o son endémicas.

En cuanto a la fauna el grupo mejor conocido son las mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) y los escarabajos (Coleoptera: Lamellicornia), cuyas especies suman casi el 50% de la fauna enlistada. En Montes Azules existen el 90% de las especies de invertebrados asociadas con el bosque tropical perennifolio de México, así como 70 especies aparentemente exclusivas de esa región.

Las aves representan la clase más diversa del grupo de los vertebrados dentro de la reserva, González (1992 y 1993), registró 341 especies en el área de la Reserva lo cual representa el 87.6% del potencial considerado para la avifauna de la Reserva, y el 55.5% del total de las aves reportadas para el estado de Chiapas.

Los Montes Azules contiene el 24.8% del total de mamíferos de México, lo cual la convierte en la región con mayor riqueza de mastofauna para el país. Con base en Medellín (1992 y 1994), en la reserva están representados todos los órdenes de mamíferos terrestres y 27 de las 33 familias mexicanas, si se considera que el área representa el 0.16% de la superficie del país, es evidente que éste es uno de los sitios de mayor diversidad en México.

En la zona que comprende la reserva y su área de influencia existe una serie de condicionantes antrópicas que conforman un mosaico socioeconómico y cultural muy particular, con características especiales. Los habitantes más antiguos de la reserva son los lacandones. Hasta mediados de la década de los 60's, la inmensidad del bosque tropical protegió a los mayas lacandones de los muchos cambios que sufrieron otros grupos indígenas de México. El resultado ha sido que los lacandones han conservado muchos de los métodos de uso de los recursos naturales especialmente adecuados al ecosistema tropical.

La reserva es una región receptora de flujos masivos de población, con este proceso el uso de los recursos de la selva se encaminan hacia actividades agrícolas, con diferentes tipos de aprovechamiento en función del lugar de procedencia, costumbres y tradiciones. En general la expansión de la agricultura genera problemas de deforestación y destrucción de ecosistemas.

## 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). Mismas que fueron tomadas de la selección de imágenes que la NASA realizó para todo el mundo.

Tabla 1.- Imágenes Landsat para la reserva de la biosfera Montes Azules.

Sensor	Path	Row	Fecha	Resolución espacial (metros)	Número de bandas	Tipo
ETM	20	48	27-Mar-00	30	6	Multiespectral
ETM	20	48	27-Mar-00	15	1	Pancromática
ETM	20	49	28-Mar-00	30	6	Multiespectral
ETM	20	49	28-Mar-00	15	1	Pancromática
ETM	21	48	03-Abr-00	30	6	Multiespectral
ETM	21	48	03-Abr-00	15	1	Pancromática
ETM	21	49	19-Abr-00	30	6	Multiespectral
ETM	21	49	19-Abr-00	15	1	Pancromática

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 9 imágenes fueron utilizadas para el cubrimiento completo del área de estudio (Tabla 2).

Tabla 2.- Imágenes de satélite SPOT para la reserva de la biosfera Montes Azules.

Sensor	K	J	Fecha	Resolución espacial (metros)	Número de bandas	Tipo	Nivel de Procesamiento
Spot	605	316	22-Ene-05	10	4	Multiespectral	1A
Spot	605	317	22-Abr-04	10	4	Multiespectral	1A
Spot	606	317	09-Mar-05	10	4	Multiespectral	1A
Spot	606	318	15-Mar-05	10	4	Multiespectral	1A
Spot	605	316	10-Mar-09	10	4	Multiespectral	1A
Spot	606	317	31-Mar-09	10	4	Multiespectral	1A
Spot	606	318	31-Mar-09	10	4	Multiespectral	1A
Spot	607	318	07-Ene-09	10	4	Multiespectral	1A
Spot	607	318	26-Mar-09	10	4	Multiespectral	1A

### Modelo Digital de Elevación (MDE)

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

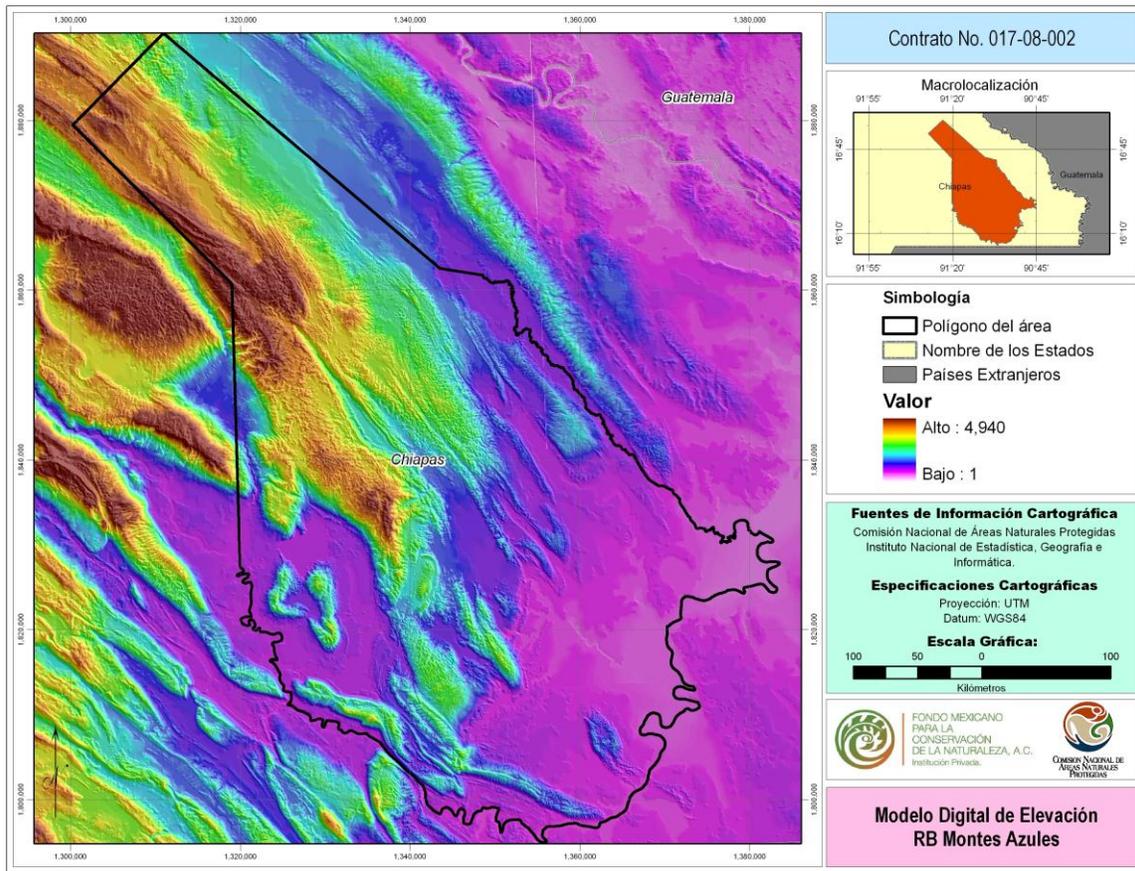


Figura 2.- Modelo Digital de Elevación INEGI, 1:50,000.

## **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 varianzas – covarianzas (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 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:

$\delta$  = 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 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-14 Norte.

La imagen Landsat ETM del año 2000, corresponde al conjunto de imágenes obtenidas por la NASA para todo el mundo, estas imágenes son una combinación de las bandas multiespectral de 30 metros y la pancromática de 15 metros para obtener un realce espacial, la combinación de bandas es la RGB 7,4,2 que corresponde al Infrarrojo lejano, Infrarrojo cercano y verde. Donde las tonalidades de verde corresponden a las selvas y los bosques, el azul y negro a los cuerpos de agua y los tonos rosas a las áreas desprovistas de vegetación.

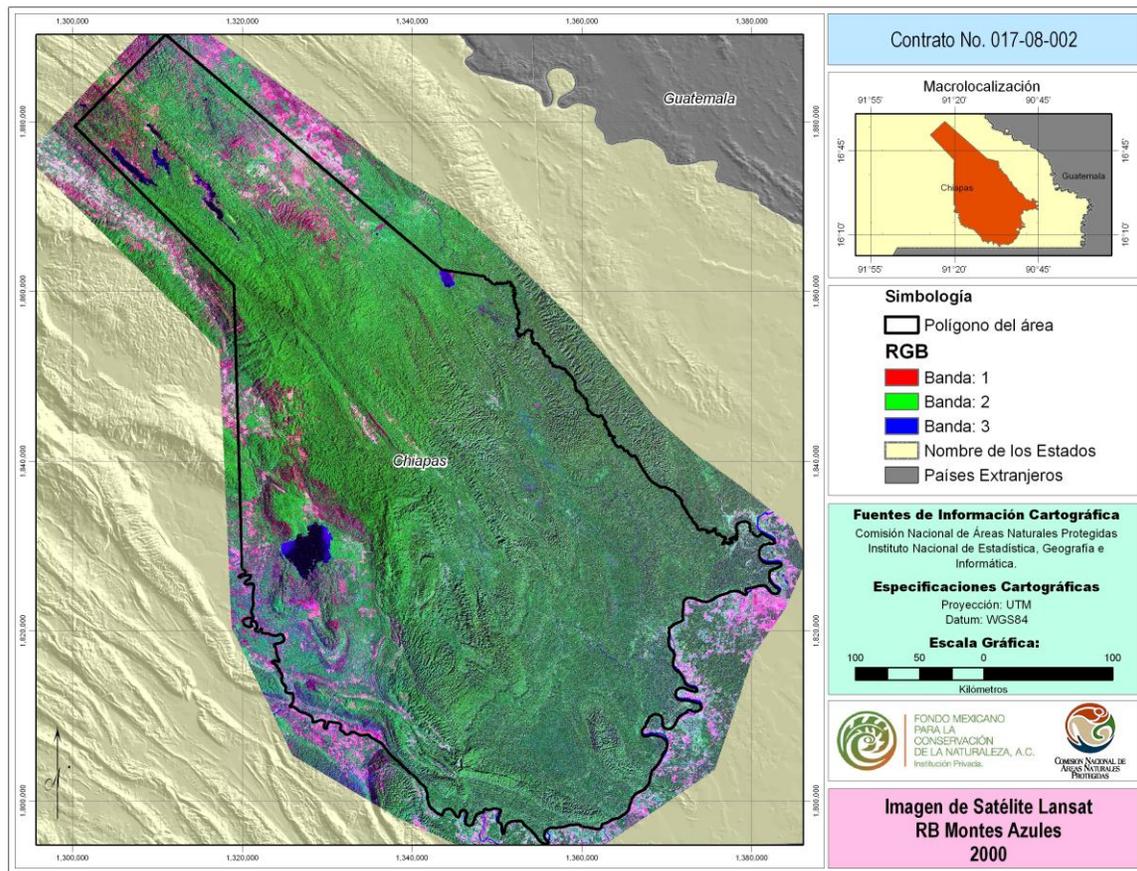


Figura 3.- Imagen de satélite Landsat ETM 2000, falso color RGB 7,4,2.

Las imágenes SPOT de los años 2005 y 2009 el falso color es RGB de las bandas 1, 2, 3 corresponde al verde, rojo e infrarrojo, con el despliegue en tonos de rojos. (Figura 4 y 5). La tonalidades de rojo corresponde a las selvas y los bosques, el negro a los cuerpos de agua y los tonos azul claro a todas aquellas áreas desprovistas de vegetación. Los cumulos de nubes se presentan en las dos imágenes, hay que considerar que en conjunto la reserva ocupa 4 escenas de las imágenes SPOT, lo cual hace difícil obtener una imagen completa libre de nubes, considerando además las condiciones de humedad que prevalecen en la zona.

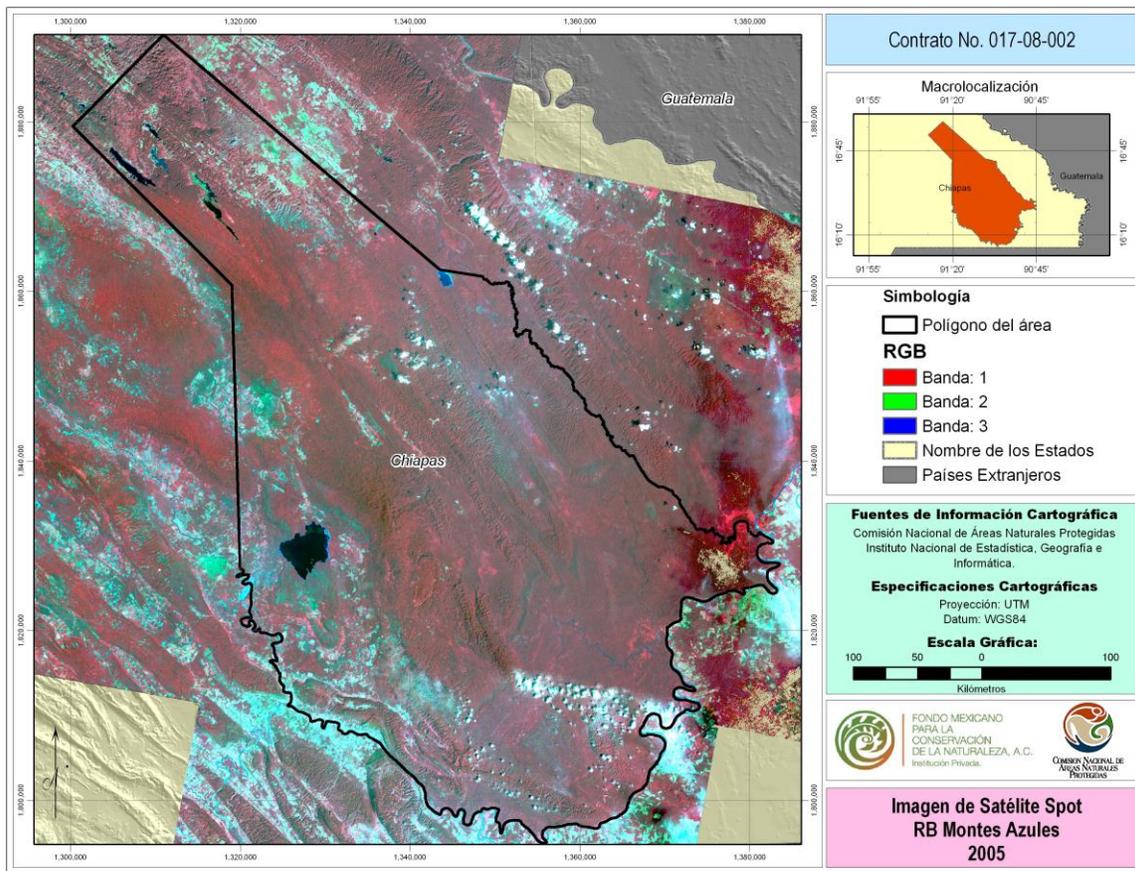


Figura 4.- Imagen de satélite SPOT 2005, falso color RGB 1,2,3.

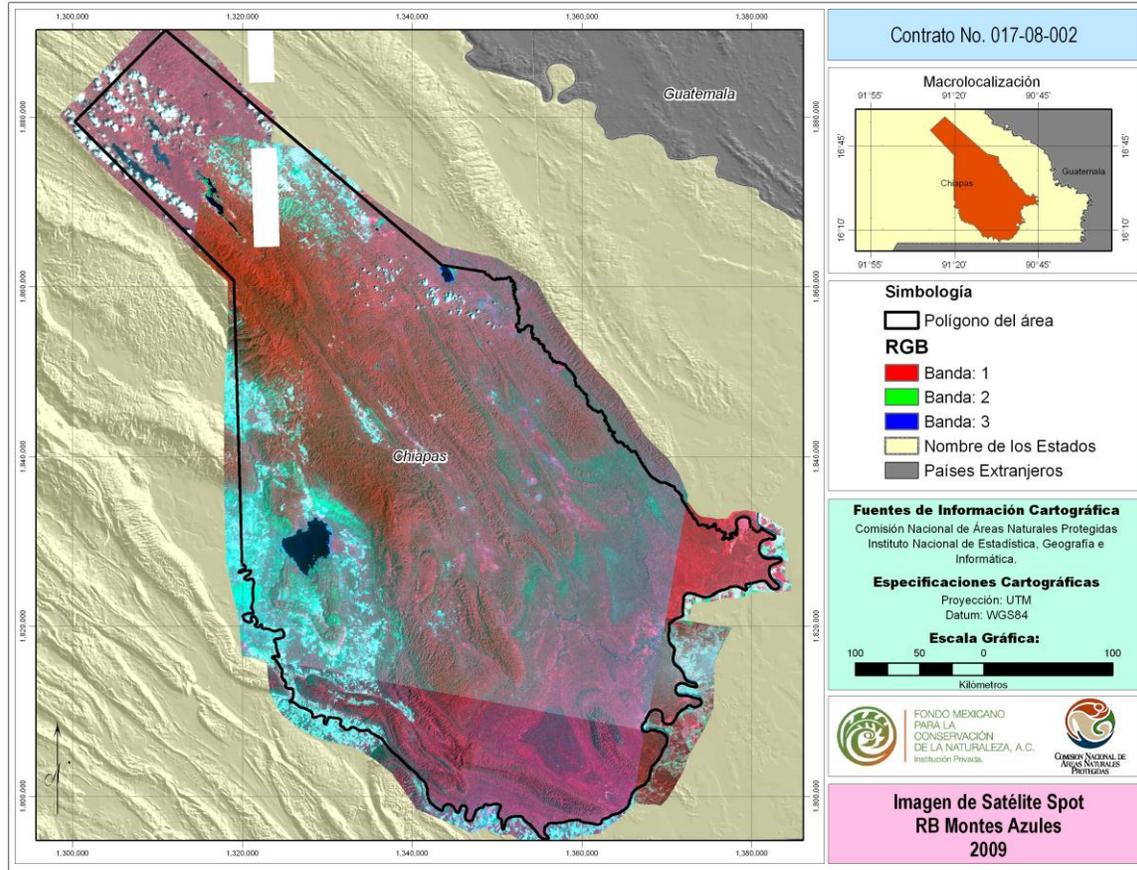


Figura 5.- Imagen de satélite SPOT 2009, falso color RGB

### ***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 2009, resultado de la clasificación de las imágenes de satélite Landsat ETM 2000 y SPOT 2005 y 2009.

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 más del 90% de la superficie total de la reserva de la biosfera Montes Azules, esta representado en su mayoría por la selva alta perennifolia con vegetación primaria y secundaria que ocupa aproximadamente el 85% de la superficie Forestal.

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

Uso del Suelo y Vegetación	2000		2005		2009	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
<b>FORESTAL</b>						
Área Sin Vegetación Aparente	10	0.003	11	0.003	11	0.003
Bosque de Pino	2,275	0.69	2,076	0.63	2,071	0.63
Bosque Mesófilo	4,118	1.26	4,117	1.26	4,113	1.26
Pastizal natural	1,668	0.51	1,668	0.51	1,634	0.50
Selva Alta Perennifolia	230,003	70.20	229,363	70.00	227,240	69.36
Selva Baja Perennifolia	665	0.20	665	0.20	665	0.20
Selva mediana perennifolia_canacoite	3,178	0.97	3,148	0.96	3,148	0.96
Selva Mediana Subperennifolia	5,622	1.72	5,622	1.72	5,622	1.72
Vegetación Hidrófila	1,126	0.34	1,126	0.34	1,109	0.34
Bosque de Pino c/VSa	906	0.28	957	0.29	1,165	0.36
Bosque Mesófilo c/VSa	37	0.01	36	0.01	87	0.03
Selva Alta Perennifolia c/VSa	34,043	10.39	34,158	10.43	35,573	10.86
Selva Alta Perennifolia_c/VSA	14,556	4.44	14,831	4.53	14,093	4.30
<i>Subtotal</i>	<b>298,206</b>	<b>91.02</b>	<b>297,777</b>	<b>90.89</b>	<b>296,531</b>	<b>90.50</b>
<b>NO FORESTAL</b>						
Agricultura	14,423	4.40	14,554	4.44	18,177	5.55
Asentamientos Humanos	680	0.21	701	0.21	713	0.22
Pastizal Inducido	10,230	3.12	10,507	3.21	8,105	2.47
<i>Subtotal</i>	<b>25,333</b>	<b>7.73</b>	<b>25,763</b>	<b>7.86</b>	<b>26,995</b>	<b>8.24</b>
<b>OTRAS</b>						
Cuerpo de Agua	4,102	1.25	4,101	1.25	4,115	1.26
<i>Subtotal</i>	<b>4,102</b>	<b>1.25</b>	<b>4,101</b>	<b>1.25</b>	<b>4,115</b>	<b>1.26</b>
<b>TOTAL</b>	<b>327,641</b>	<b>100.00</b>	<b>327,641</b>	<b>100.00</b>	<b>327,641</b>	<b>100.00</b>

El grupo No Forestal esta constituido principalmente por Agricultura que ocupan más del 4% y el Pastizal con aproximadamente el 3% de la superficie total de la reserva de la biosfera. Los Asentamientos Humanos, ocupan una porción muy pequeña aproximadamente el 0.2%. Mientras que los cuerpos de agua representan alrededor del 1.25% de la superficie total.

Los mapas muestran la secuencia de los grupos Forestal y No Forestal en los años 2000, 2005 y 2009. El color verde representa aquellas zonas en donde se 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).

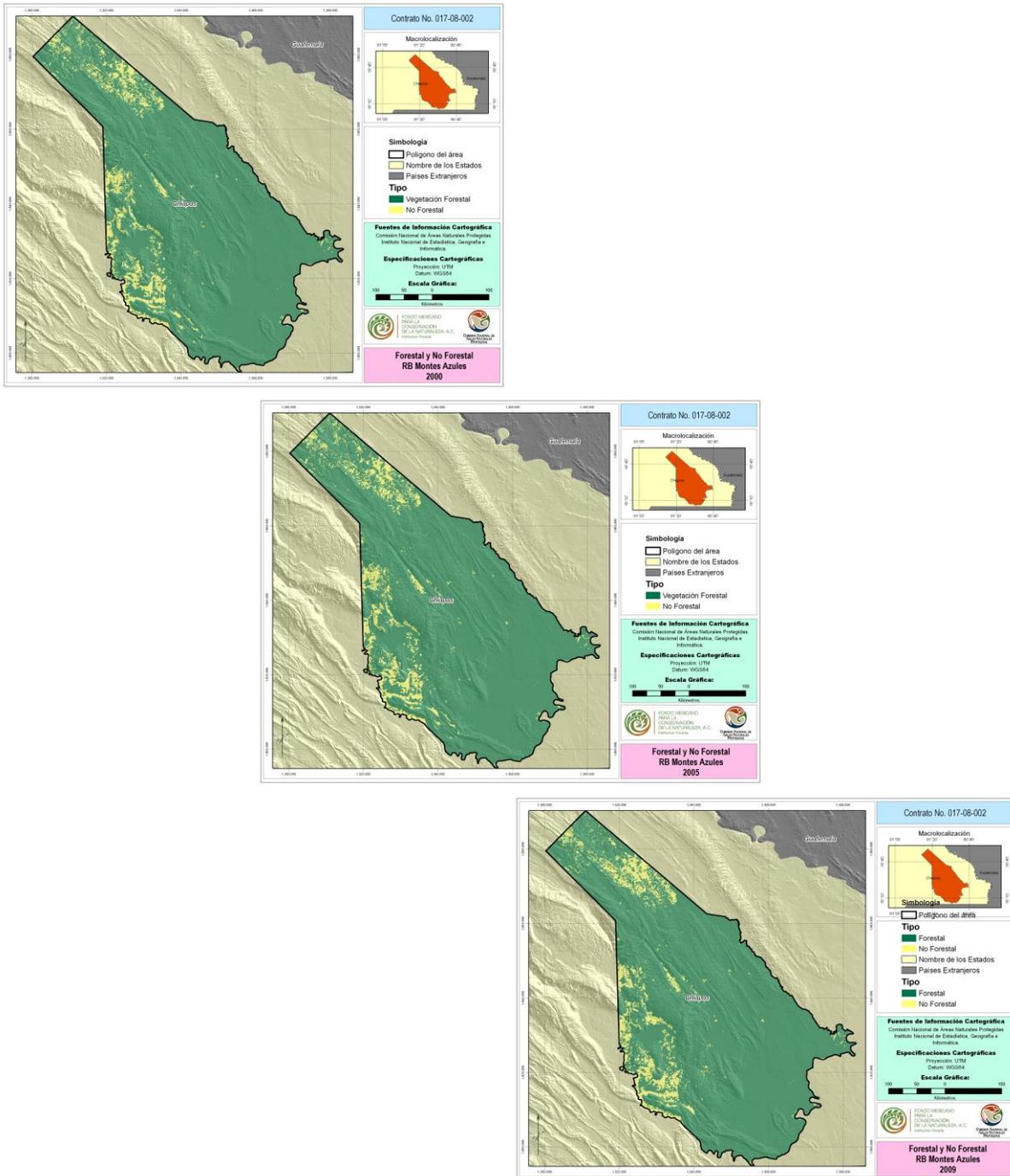


Figura 6.- Grupo Forestal-No Forestal año 2000, 2005 y 2009

La tabla muestra los datos de superficie obtenidos a partir de los años 90's para la reserva de la biosfera Montes Azules, en el año 1990, doce años posterior al establecimiento de la reserva la superficie Forestal es de 298,714 hectáreas para el año 2009 se registra una superficie de 296,531 hectáreas, lo que representa que en 19 años se han transformado un total de 2,183 hectáreas que representa (0.6%) menos del 1 % de la superficie total de Montes Azules.

Tabla 4.- Superficie Forestal-No Forestal histórico

Años	Forestal (Ha)	No Forestal (Ha)
1990	298,714	24,824
2000	298,206	25,333
2005	297,777	25,763
2009	296,531	26,995

La grafica 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 90's. Se presenta una tendencia continua a reducir las áreas de vegetación forestal e incrementar las zonas No Forestal (Figura 7).

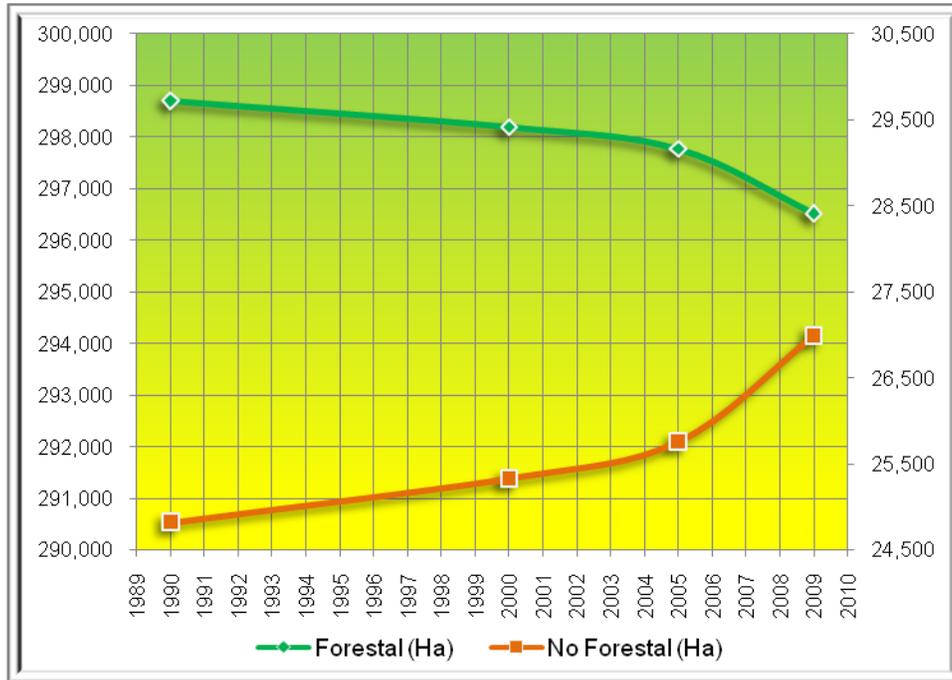


Figura 7.- Comportamiento de la superficie Forestal-No Forestal de 1990-2009.

Como resultado de la clasificación de las imágenes se presentan los mapas con las coberturas para los años 2000, 2005 y 2009 (Figura 8, 9 y 10). En donde se puede observar que los colores café corresponde al conjunto de bosques, estos se ubican en la porción Noroeste de la reserva, mientras que las selvas ocupan la mayor proporción del área están representadas por los colores rosados y las actividades humanas como la agricultura en color amarillo y los pastizales en color naranja. Los cuerpos de agua, están representados con un tono azul.

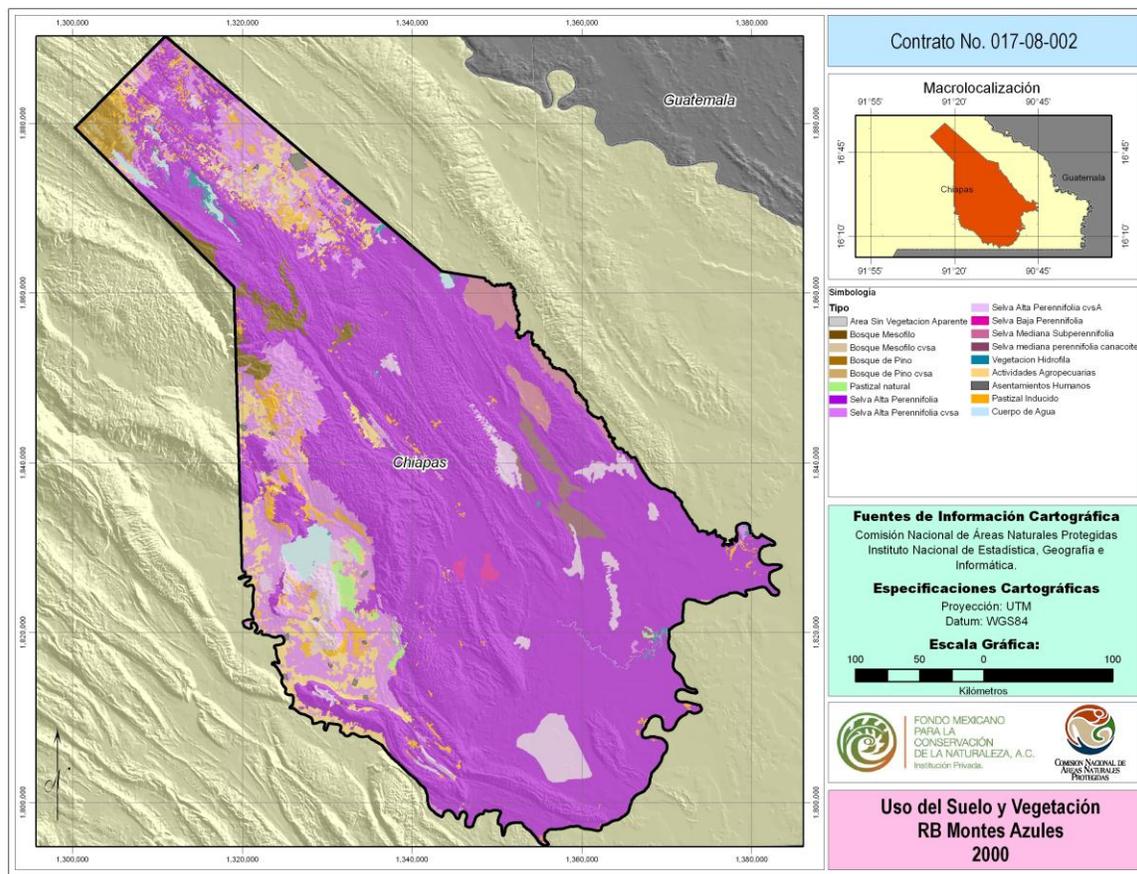


Figura 8.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen Landsat ETM 2000.

Las selvas constituyen un enorme macizo continuo, se puede observar que las áreas transformadas se encuentran principalmente en dos grandes regiones, al Noreste de la reserva y alrededor de los dos principales cuerpos de agua La Laguna Miramar y Lacanja al Este de la reserva de la biosfera.

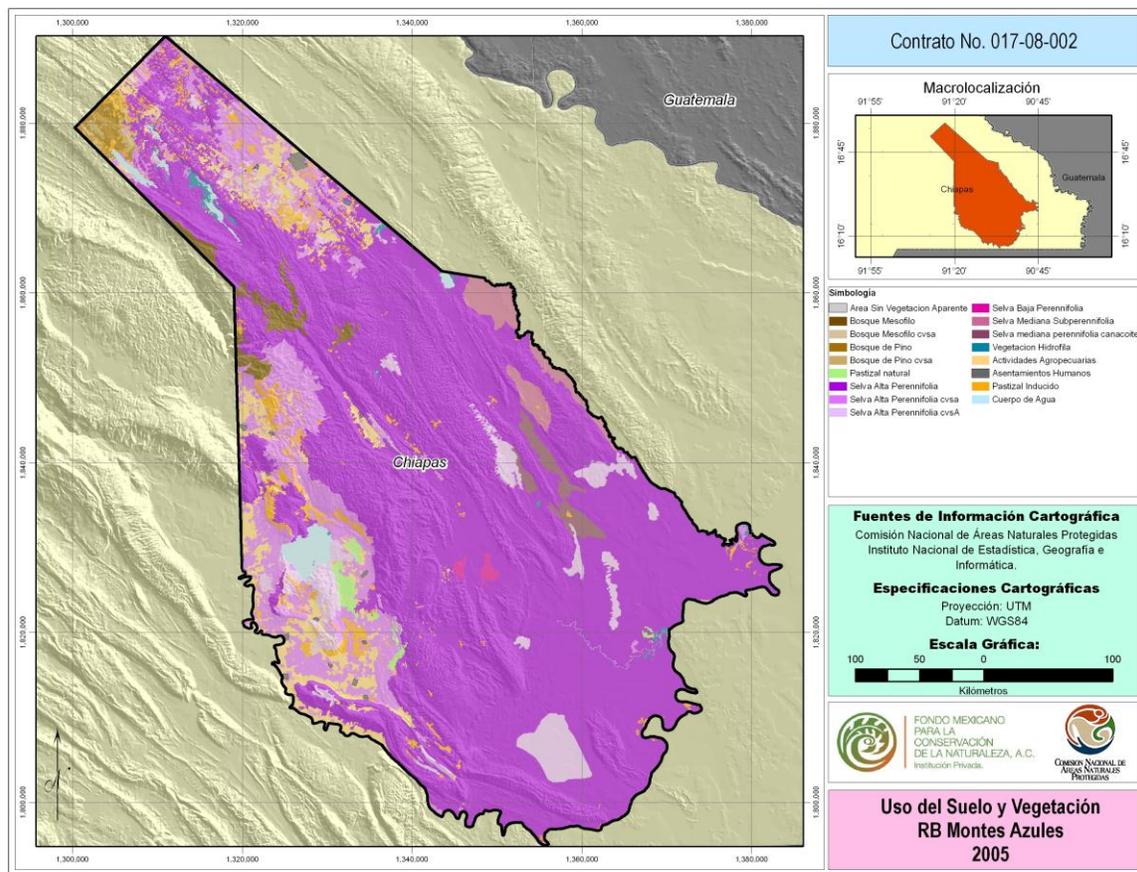


Figura 9.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2005.

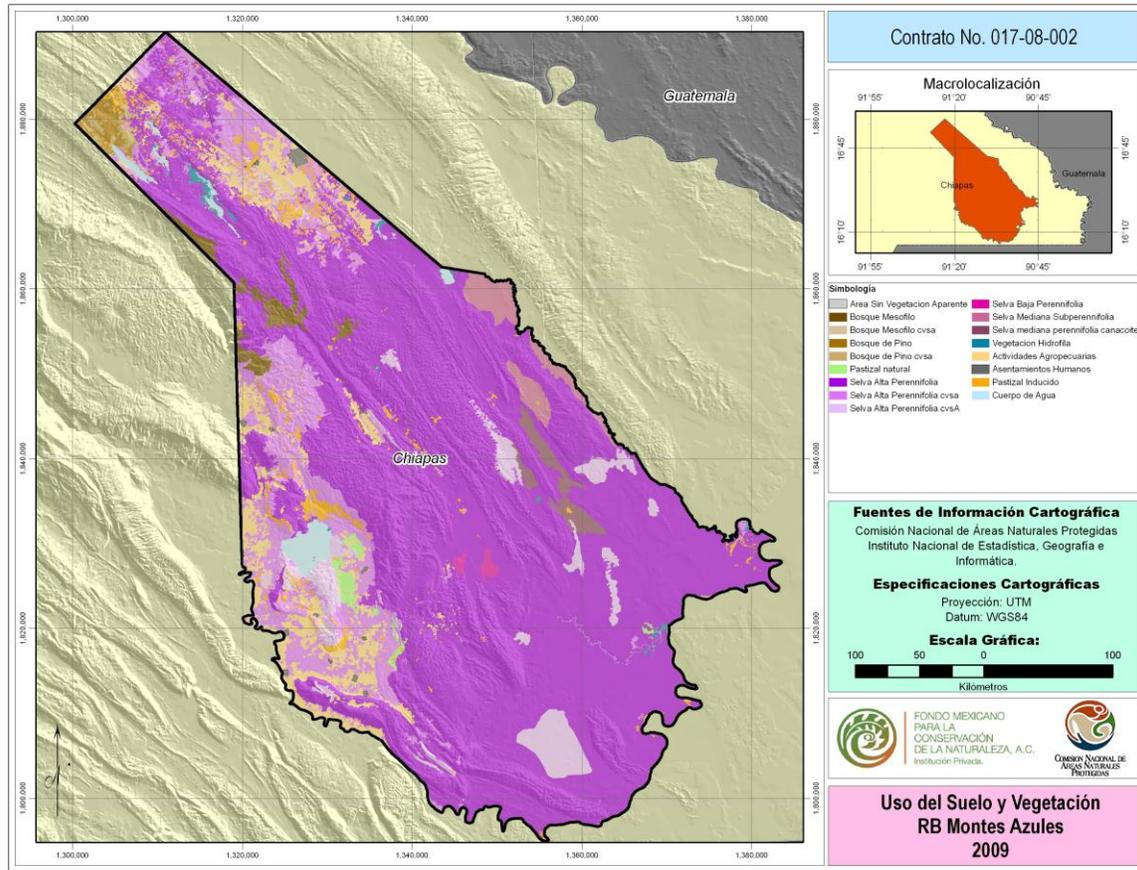


Figura 10.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2009.

### Áreas de cambio

En la matriz de transición (Tabla 5 y 6) se reflejan los cambios entre cada periodo. En el periodo 2000-2005 presenta zonas perturbadas donde la vegetación primaria pasa a vegetación secundaria y zonas de deforestación en donde la vegetación primaria y secundaria pasa a usos del suelo por actividades antrópicas. Mientras que en el periodo 2005-2009 se pueden observar procesos de revegetación en donde zonas que fueron utilizadas por actividades humanas, han sido abandonadas y comienza un proceso de recuperación.

Tabla 5.- Matriz de transición entre el periodo 2000-2005 para la reserva de la biosfera Montes Azules.

Matriz de Transición	Area Sin Vegetacion Aparente	Bosque de Pino	Bosque Mesofilo	Pastizal natural	Selva Alta Perennifolia	Selva Baja Perennifolia	Selva mediana perennifolia_canacoite	Selva Mediana Subperennifolia	Vegetacion Hidrofila	Bosque de Pino/VSa	Bosque Mesofilo/VSa	Selva Alta Perennifolia/VSa	Selva Alta Perennifolia_VSA	Actividades Agropecuarias	Asentamientos Humanos	Pastizal Inducido	Cuerpo de Agua	Total 2000
Area Sin Vegetacion Aparente	10																	10
Bosque de Pino		2,076								51						149		2,275
Bosque Mesofilo			4,117								0					1		4,118
Pastizal natural				1,668														1,668
Selva Alta Perennifolia					229,363							136	309	102	5	89		230,003
Selva Baja Perennifolia						665												665
Selva mediana perennifolia_canacoite							3,148									29		3,178
Selva Mediana Subperennifolia								5,622										5,622
Vegetacion Hidrofila									1,126									1,126
Bosque de Pino/VSa										906								906
Bosque Mesofilo/VSa											36					1		37
Selva Alta Perennifolia/VSa												34,023			14	6		34,043
Selva Alta Perennifolia_VSA					0								14,523	28		5		14,556
Actividades Agropecuarias														14,421	2			14,423
Asentamientos Humanos															680			680
Pastizal Inducido														1		10,228		10,230
Cuerpo de Agua	1													1			4,101	4,102
<b>Total 2005</b>	<b>11</b>	<b>2,076</b>	<b>4,117</b>	<b>1,668</b>	<b>229,363</b>	<b>665</b>	<b>3,148</b>	<b>5,622</b>	<b>1,126</b>	<b>957</b>	<b>36</b>	<b>34,158</b>	<b>14,831</b>	<b>14,554</b>	<b>701</b>	<b>10,507</b>	<b>4,101</b>	<b>327,641</b>

Tabla 6.- Matriz de transición entre el periodo 2005-2009 para la reserva de la biosfera Montes Azules.

Uso del Suelo y Vegetación	Area Sin Vegetacion Aparente	Bosque de Pino	Bosque Mesofilo	Pastizal natural	Selva Alta Perennifolia	Selva Baja Perennifolia	Selva mediana perennifolia_canacoite	Selva Mediana Subperennifolia	Vegetacion Hidrofila	Bosque de Pino/VSa	Bosque Mesofilo/VSa	Selva Alta Perennifolia/VSa	Selva Alta Perennifolia_VSA	Actividades Agropecuarias	Asentamientos Humanos	Pastizal Inducido	Cuerpo de Agua	Total 2005
Area Sin Vegetacion Aparente	11																	11
Bosque de Pino		2,071														5		2,076
Bosque Mesofilo			4,113													3		4,117
Pastizal natural				1,509								1		110		48		1,668
Selva Alta Perennifolia					227,240							663		807		652	0	229,363
Selva Baja Perennifolia						665												665
Selva mediana perennifolia_canacoite							3,148											3,148
Selva Mediana Subperennifolia								5,622										5,622
Vegetacion Hidrofila									1,109							4	13	1,126
Bosque de Pino/VSa										946						11		957
Bosque Mesofilo/VSa											35					1		36
Selva Alta Perennifolia/VSa												29,272	0	3,137	8	1,742		34,158
Selva Alta Perennifolia_VSA												389	14,091	250	3	98		14,831
Actividades Agropecuarias				92								1,264	2	13,026		170		14,554
Asentamientos Humanos															701			701
Pastizal Inducido				33						219	52	3,984		846	0	5,370	3	10,507
Cuerpo de Agua														2			4,098	4,101
<b>Total 2009</b>	<b>11</b>	<b>2,071</b>	<b>4,113</b>	<b>1,634</b>	<b>227,240</b>	<b>665</b>	<b>3,148</b>	<b>5,622</b>	<b>1,109</b>	<b>1,165</b>	<b>87</b>	<b>35,573</b>	<b>14,093</b>	<b>18,177</b>	<b>713</b>	<b>8,105</b>	<b>4,115</b>	<b>327,641</b>

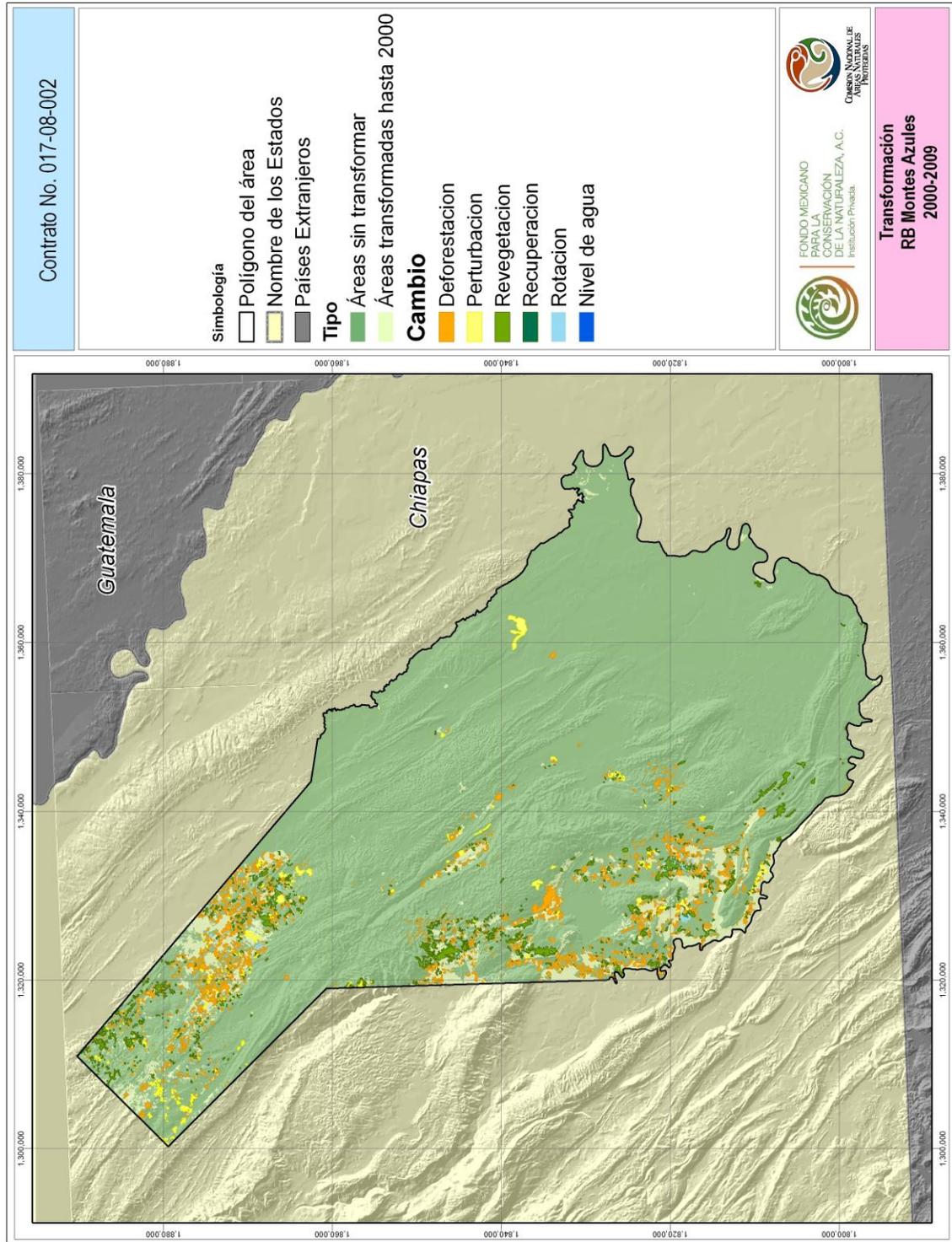


Figura 11.- Áreas de cambio 2000-2009.

La figura 11 muestra las áreas de cambio que se presentan en el periodo 2000-2009. En general el color verde muestra las áreas que no han sufrido transformación y las zonas con color verde claro aquellas zonas que ha sido transformado por actividades antropicas.

Son pocas las zonas que ya se encontraban transformadas en el año 2000 (25,333 Ha) que corresponde aproximadamente al 7.7% de la superficie total. Las zonas de deforestación se muestran en color naranja y las áreas de perturbación en color amarillo. Mientras que las zonas de revegetación y recuperación se indican con colores verdes mas intenso. Si bien se observan zonas de deforestación, también existen amplias zonas con un proceso de revegetación.

Las tablas 7 y 8 muestran la superficie de los tipos de vegetación que es afectada por actividades humanas. En el periodo 2000-2005, el pastizal inducido es la actividad que mas domina afectando tanto los bosque como a las selvas. En total en el periodo se transformaron 429 Ha que representan 86 Ha/año.

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

Transformación en el Periodo 2000-2005	Actividades Agropecuarias	Asentamientos Humanos	Pastizal Inducido
Area Sin Vegetacion Aparente			
Bosque de Pino			-149
Bosque Mesofilo			-1
Pastizal natural			
Selva Alta Perennifolia	-102	-5	-89
Selva Baja Perennifolia			
Selva mediana perennifolia_canacoite			-29
Selva Mediana Subperennifolia			
Vegetacion Hidrofila			
Bosque de Pino c/VSa			
Bosque Mesofilo c/VSa			-1
Selva Alta Perennifolia c/VSa		-14	-6
Selva Alta Perennifolia_c/VSA	-28		-5
Subtotal	-131	-19	-279
<b>Total</b>	<b>-429</b>	Ha en 5 años	
<b>Total</b>	<b>-86</b>	Ha por año	

Para el periodo 2005-2009, es la agricultura la actividad que tiene un mayor impacto principalmente sobre las selvas, le sigue los pastizales actividad que también presenta un fuerte impacto sobre las selvas y por ultimo los asentamientos humanos, aunque la afectación es mínima es una actividad que tiene un impacto sobre los ecosistemas de la reserva. En total en el periodo se transformaron 1,246 Hectáreas que representan 312 Ha/Año.

Tabla 8.- Superficie de vegetación afectada por actividades humanas periodo 2005-2009.

Transformación en el Periodo 2005-2009	Actividades Agropecuarias	Asentamientos Humanos	Pastizal Inducido	Cuerpo de Agua
Area Sin Vegetacion Aparente				
Bosque de Pino			-5	
Bosque Mesofilo			-3	
Pastizal natural	-17		-15	
Selva Alta Perennifolia	-807		-652	
Selva Baja Perennifolia				
Selva mediana perennifolia_canacoite				
Selva Mediana Subperennifolia				
Vegetacion Hidrofila			-4	-13
Bosque de Pino/VSa			208	
Bosque Mesofilo/VSa			51	
Selva Alta Perennifolia/VSa	-1,873	-8	2,243	
Selva Alta Perennifolia_VSA	-248	-3	-98	
Pastizal Inducido				-3
Cuerpo de Agua	2			
Subtotal	-2,943	-11	1,724	-16
<b>Total</b>	<b>-1,246</b>	Ha en 4 años		
<b>Total</b>	<b>-312</b>	Ha por año		

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

En la tabla 9, se puede observar que dentro del periodo 2000-2005 se perdieron 429 Ha y para el 2005-2009 1,246 Ha, lo que representa una tasa de 0.03% para el periodo 2000-2005 y 0.10% para el periodo 2005-2009.

Tabla 9.- Tasa de transformación del habitat

Período	s1	s2	Cambio (HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual	HA/año
2000-2005	298,206	297,777	429	5	0.0003	0.03	86
2005-2009	297,777	296,531	1,246	4	0.0010	0.10	312

Entre los dos periodos se presenta un incremento, el comportamiento general tiende a incrementarse, como lo muestra el conjunto de datos de las fechas anteriores (Tabla 10).

Tabla 10.- Tasa de transformación del habitat histórica

Periodo	S1	S2	Cambio (Ha)	Año	Tasa de cambio	Tasa de cambio anual (%)
1990-2000	298,714	298,206	508	10	0.0002	0.02
2000-2005	298,206	297,777	429	5	0.0003	0.03
2005-2009	297,777	296,531	1,246	4	0.0010	0.10

Si bien se observa un incremento en la tasa de transformación es importante continuar con el monitoreo del área, considerando la presencia de todas las áreas de revegetación, que podrían llegar a reducir la tasa de transformación (Fig. 12).



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 en el año 2000 (91.02%), 2005 (90.89%) y 2009 (90.50%) domina la vegetación de Selva perennifolia. En tanto que el grupo No Forestal ocupa un porcentaje en el año 2000 (7.73%), 2004 (7.86%) y 2008 (8.24%), en donde el uso de suelo Agrícola es el que esta mas representado.

La tasa de transformación que se presento en el periodo 2000-2005 fue de 0.03% que representa un cambio de 86 Ha/año transformadose en el periodo de 5 años un total de 429 Ha. Mientras que en el periodo 2005-2009 se estimó una tasa de transformación de 0.10% que representan 312 Ha/año con una transformación total el un periodo de 4 años de 1,246 Ha.

Existe una tendencia general a continuar la transformación del habitat, con un incremento en la tasa de transformación. Es importante darle seguimiento a esta reserva, en función de que cuenta con mas del 90% de cobertura forestal y que se registraron zonas importante con actividades de revegetación.

## 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

FANP-CONANP, 2003. Estimación de la Tasa de Transformación del Habitat de la Reserva de la Biosfera Montes Azules, Periodo 1996-2000. Informe Final septiembre de 2003, 21 pp.

FMCN, 2009. Manual de Operaciones 2009, Fondo para Áreas Naturales Protegidas. México, D.F. 228 pp.

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 satandard errors of kappa and wighted kappa. Psychological Bulletin, 72, 323-327.

Gonzales, G. F. 1992 Aves de la Selva Lacandona, Chiapas, México. En: Vazquez Sanchez, M. y M. Ramos (Ed). Reserva de la Biosfera Montes Azules, Selva Lacandona: Investigación para su conservación. Publicaciones Especiales Exosfera Num. 1, México. 173-200 pp.

Hutchinson, C.F. 1982. Tecniques for combining landsat and ancillary data for digital classification improement. 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

Medellín, R. 1992 Community Ecology and Conservation of Mammals in a Mayan Tropical Rain Forest and abandoned agricultural fields. Tesis (Doctorado) University of Florida USA 333 pp.

Medellín, R. 1994 Mammals Diversity and Conservation in the Selva Lacandona, Chiapas, México. Conservation Biology. USA. 83(3):780-799 pp.

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

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

Sánchez-Cordero, V., Illoldi, P., Figueroa, F. y M. Linaje. 2008. Diagnostico de la efectividad de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) Federales para prevenir el cambio en el uso del suelo y vegetación. Informe Final noviembre 2008. 117 pp.

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.