



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  
Tehuacan-Cuicatlán*



**Nombre del Consultor:**  
*Blanca Patricia Velasco Tapia*

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

Morelia, Michoacán  
25 de Septiembre 2009

### **Coordinación**

Jorge Carranza Sánchez  
Subdirección de Área  
CONANP-SEMARNAT

Andrew John Rhodes Espinoza  
Coordinador Central del FANP  
FMCN - CONANP

### **Consultora**

Blanca Patricia Velasco Tapia  
FMCN – CONANP

### **Colaboración Técnica**

Ignacio Paniagua Ruíz  
Jefe de Departamento  
CONANP-SEMARNAT

Héctor Martín Cruz Rojas  
Técnico del SIG  
CONANP-SEMARNAT



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

“SEMAR-SAGARPA-ASERCA-CONANP 2009.

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

## Índice

<i>Introducción</i>	4
<i>Antecedentes</i>	8
<i>Objetivo</i>	10
<i>Área de Estudio</i>	10
<i>Material</i>	13
Polígono oficial	13
Imágenes de satélite	13
Modelo Digital de Elevación (MDE)	15
<i>Metodología</i>	16
Rectificación de imágenes de satélite	16
Clasificación de imágenes de satélite	17
Áreas de cambio	19
Tasa de Transformación	21
<i>Resultados</i>	23
Imágenes	23
Uso del Suelo y Vegetación	25
Áreas de cambio	31
Tasa de Transformación del Hábitat.	36
<i>Conclusiones</i>	38
<i>Bibliografía</i>	39

## 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 (FMCN, 2009).

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”*** (Sánchez-Cordero *et. al.*, 2008). 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 Tehuacan-Cuicatlan, zona de extraordinaria riqueza cultural y natural. En cuanto a la relevancia histórica el Valle de Tehuacan tiene su expresión contemporánea en la considerable riqueza de culturas que lo habitan. Así, en el presente se distribuyen en el valle numerosas comunidades indígenas nahuas, popolocas, mixtecas. Ixcatecas, mazatecas, chinantecas y cuicatecas. Al mismo tiempo El valle de Tehuacan-Cuicatlán es depositario de una excepcional biodiversidad, que lo constituye en la zona árida y semiárida de Norteamérica con mayor riqueza biológica.

En el año del 2003 se realizó la primera evaluación de la reserva de la biosfera Tehuacan-Cuicatlán (FANP-CONANP, 2003), en donde, se emplearon imágenes de satélite Landsat correspondientes a las décadas de los 70', 80's, 90's y 2000. Los datos obtenidos para el año 2000 contaba con una superficie transformada de 72,063 Ha que corresponde al 14.69.8% de la superficie total de la reserva. En el periodo analizado entre 1986 y 2000, se estimo una tasa de 0.29%, equivalente a 1,253 Ha/año, transformándose en 14 años 17,220 Ha. El análisis por periodo

muestra un incremento continuo en la transformación del hábitat, donde la selva baja caducifolia y subcaducifolia y el bosque de encino se han transformado en zona para actividades agrícolas y pastizales inducidos que son dedicados a la ganadería.

## Objetivo

- ◆ Estimar y/o actualizar la tasa de transformación del hábitat de la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán correspondiente a la Región Centro y Eje Neovolcánico, para los años 2000, 2005 y 2008.

## Área de Estudio

La reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán comprende parte del sureste del Estado de Puebla y noroeste del Estado de Oaxaca, se ubica en 51 municipios; 20 en el Estado de Puebla y 31 Oaxaca, con una superficie total de 490,955 Hectáreas.

Debido al gradiente altitudinal, su compleja topografía y la barrera que establece la Sierra Negra y Oaxaqueña a los vientos húmedos provenientes del Golfo de México, en la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán, de acuerdo con Köppen y modificado por García (1981), están presentes los climas: Tropical lluvioso, Seco y Templado lluvioso.

El complejo montañoso que conforma el Escudo Mixteco que une la Sierra Madre del Sur con el Eje Volcánico Transversal donde se ubica la reserva determina las diferencias en humedad, temperatura, precipitación media anual y evapotranspiración potencial. En general gran parte de la superficie de la reserva presenta climas secos o áridos, seguido de los templados.

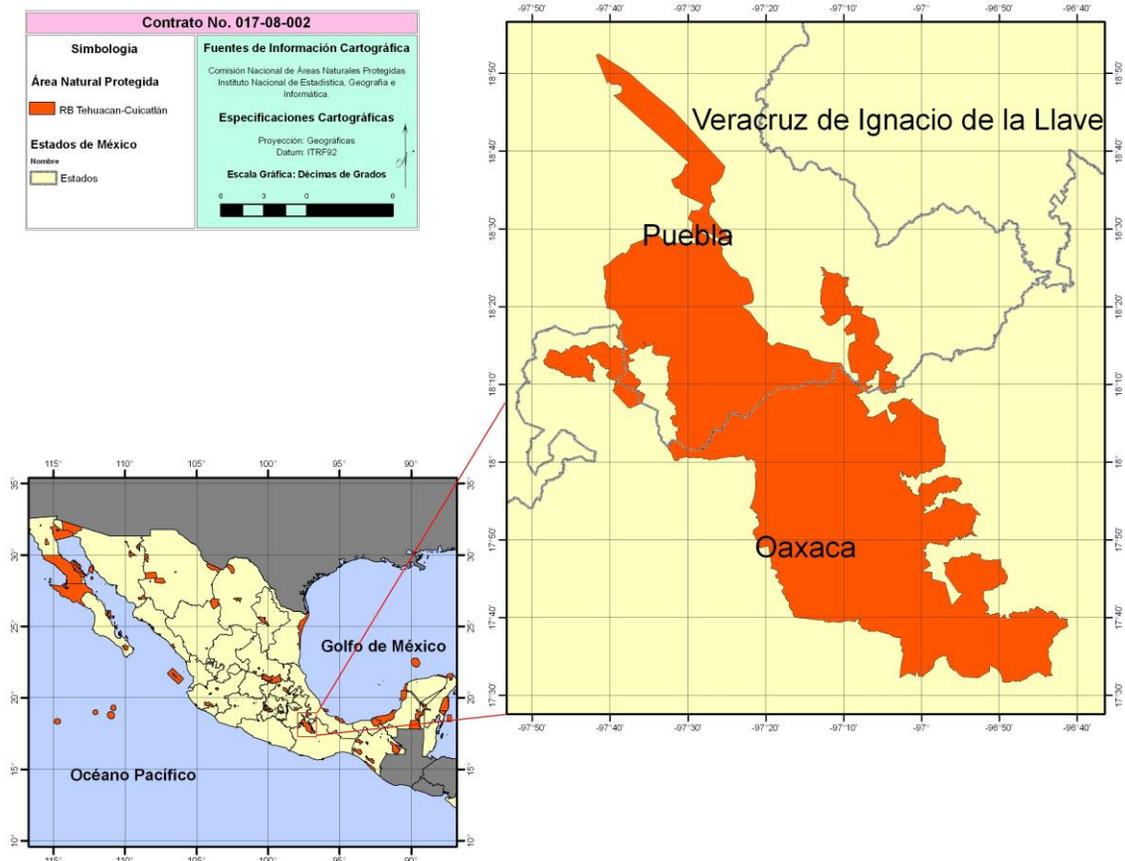


Figura 1.- Ubicación geográfica de la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

La Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, forma parte de la provincia florística del Valle Tehuacán-Cuicatlán en la región Xerofítica Mexicana. (Rzedowski, 1978). La vegetación que se distribuyen en la región de Tehuacán - Cuicatlán es variada y compleja, de acuerdo a la clasificación de Miranda y Hernández (1963) se registran 21 tipos de vegetación.

En cuanto a flora, el Valle de Tehuacán-Cuicatlán está representado por 57 especies de musgos y por 2,686 especies de la flora vascular. La riqueza florística del Valle Tehuacán-Cuicatlán se observa mejor cuando se comparan las familias más diversas de México como las Asteraceae, Fabaceae, Orchidaceae, Poaceae, Cactaceae y Lamiaceae. El Valle contiene aproximadamente el 10% de las especies de plantas vasculares descritas para México.

La riqueza faunística de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán al igual que otras regiones del país presenta elementos de la región Neártica y Neotropical. En términos generales, la fauna del Valle Tehuacán-Cuicatlán y de la Reserva de la Biósfera es menos conocida que su flora vascular.

En cuanto a los vertebrados, en el valle de Tehuacán – Cuicatlán incluye algunos grupos de fauna que están directamente relacionados con la historia humana. Recientemente algunos grupos específicos, como peces, anfibios y reptiles han sido estudiados, se calcula que existen 18 especies de peces, 27 de anfibios y 85 especies de reptiles. Existe un registro de 181 especies de mamíferos, de los cuales 55 son murciélagos. En cuanto a aves se reportan 338 especies.

En la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán las comunidades que se encuentran principalmente en el valle de Zapotitlán, en la region de Coixtlahuaca - Nochixtlan y en la Sierra Mazateca. Los servicios básicos en las comunidades son insuficientes, en la mayoría de los casos no se cuenta con la infraestructura necesaria, la pobreza en que viven genera bajas expectativas de desarrollo y una mayor presión sobre los recursos naturales.

La agricultura y la ganadería han tenido el mismo patrón de desarrollo que en otros estados del país, no obstante de que la vocación del suelo no es adecuada por la topografía, edafología y condiciones climatológicas. En las áreas donde se práctica esta agricultura, se observa un creciente deterioro del suelo y de la vegetación por procesos de erosión y deforestación, debido al avance de la frontera agrícola sobre terrenos de vocación forestal y a las condiciones adversas de topografía, suelo y clima para el desarrollo de los cultivos agrícolas.

## 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

Sensor	Path	Row	Fecha	Resolución espacial (metros)	Número de bandas	Tipo	Nivel de Procesamiento
TM	25	47	26-Oct-89	30	6	Multiespectral	Ortorectificada
TM	24	47	29-Abr-89	30	6	Multiespectral	Ortorectificada
TM	24	48	26-Oct-89	30	6	Multiespectral	Ortorectificada
ETM	25	47	06-Sep-00	30	6	Multiespectral	Ortorectificada
ETM	24	47	24-Abr-00	30	6	Multiespectral	Ortorectificada
ETM	24	48	24-Abr-00	30	6	Multiespectral	Ortorectificada

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 11 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 Tehuacán-Cuicatlán

Sensor	K	J	Fecha	Resolución (metros)	Tipo	Nivel de Procesamiento
Spot 5	592	313	01-Mar-03	10	4	Multiespectral
Spot 5	592	320	27-Dic-03	10	4	Multiespectral
Spot 5	593	319	01-Ago-05	10	4	Multiespectral
Spot 5	592	319	23-Dic-03	10	4	Multiespectral
Spot 5	593	320	23-Dic-03	10	4	Multiespectral
Spot 5	594	315	11-Ene-05	10	4	Multiespectral
Spot 5	592	313	01-Mar-07	10	4	Multiespectral
Spot 5	592	320	02-May-07	10	4	Multiespectral
Spot 5	593	319	23-May-07	10	4	Multiespectral
Spot 5	592	319	19-Ene-07	10	4	Multiespectral
Spot 5	593	320	19-Ene-07	10	4	Multiespectral

### 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.

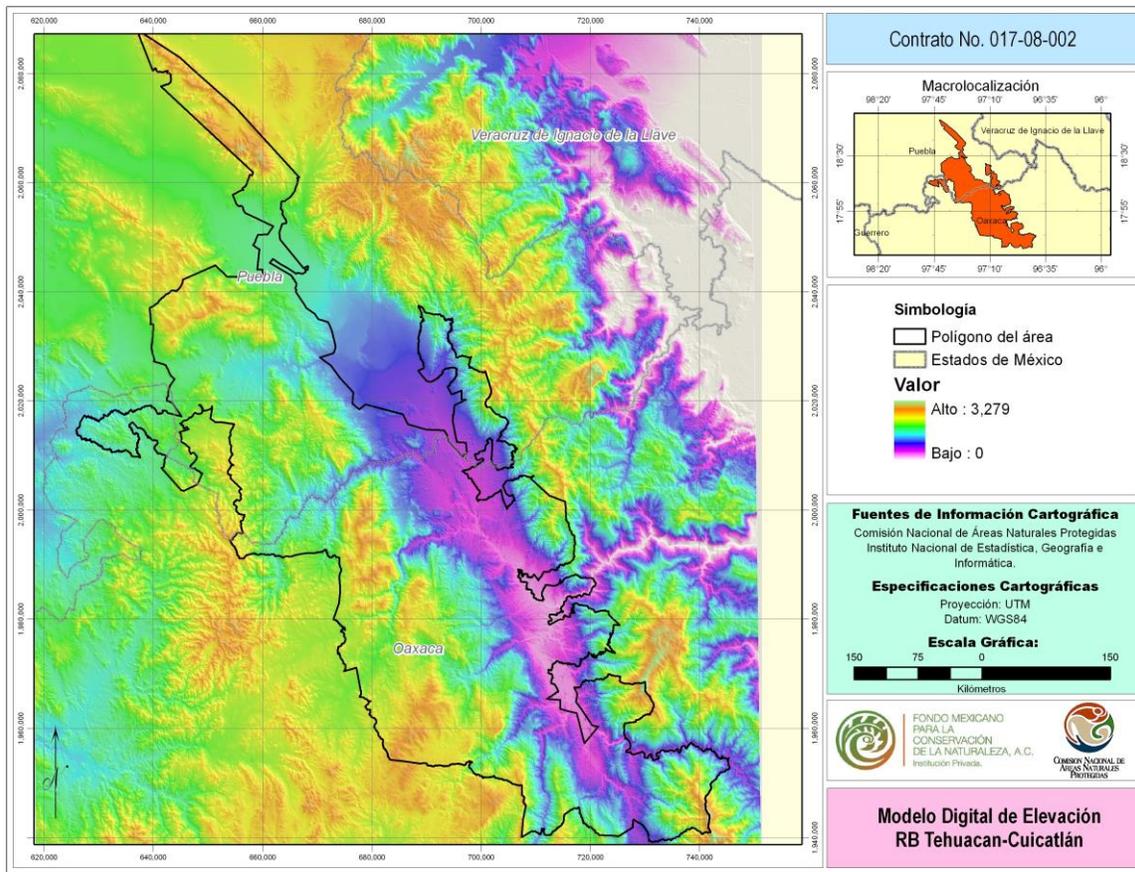


Figura 2.- Modelo Digital de Elevación INEGI, 1:50,000.

## **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 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 cartografiable 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

Las imágenes finales tienen una especificación cartográfica en: Proyección-UTM, Datum-WGS84, Esferoide-WGS84, Zona-14 Norte.

La imagen Landsat ETM del año 2000, se trabajo en una combinación de falso color RGB de las bandas 1, 2, 3 que corresponde al Azul, Verde, Rojo, esto debido a que solo se contaba con estas bandas (Figura 3). Esta combinación permite observar los colores como se ven con el ojo humano, donde las tonalidades de verde oscuro corresponde a los bosques, los tonos cafés las selvas y las área en color blanco y gris asentamientos humanos, cultivos y pastizales.

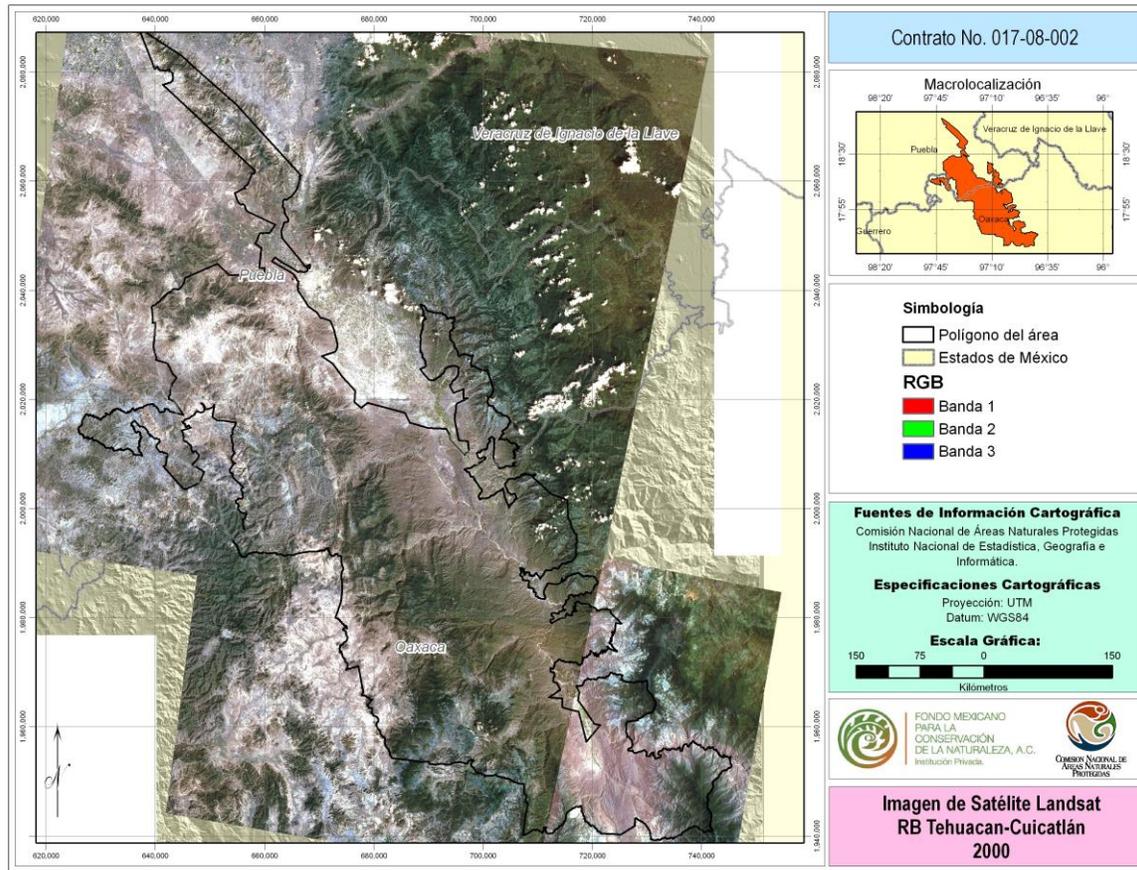


Figura 3.- Imagen de satélite Landsat ETM 2000, falso color RGB 1,2,3.

Las imágenes SPOT de los años 2003 y 2007 el falso color es RGB de las bandas 1, 2, 3 corresponde al verde, rojo e infrarrojo, con el despliegue en tonalidades de rojo (Figura 4 y 5). Donde los rojos intensos muestran la vegetación más vigorosa que corresponde a los bosques, mientras que las selvas se muestran con un tono café. El color blanco y gris los asentamientos humanos, cultivos y pastizales.

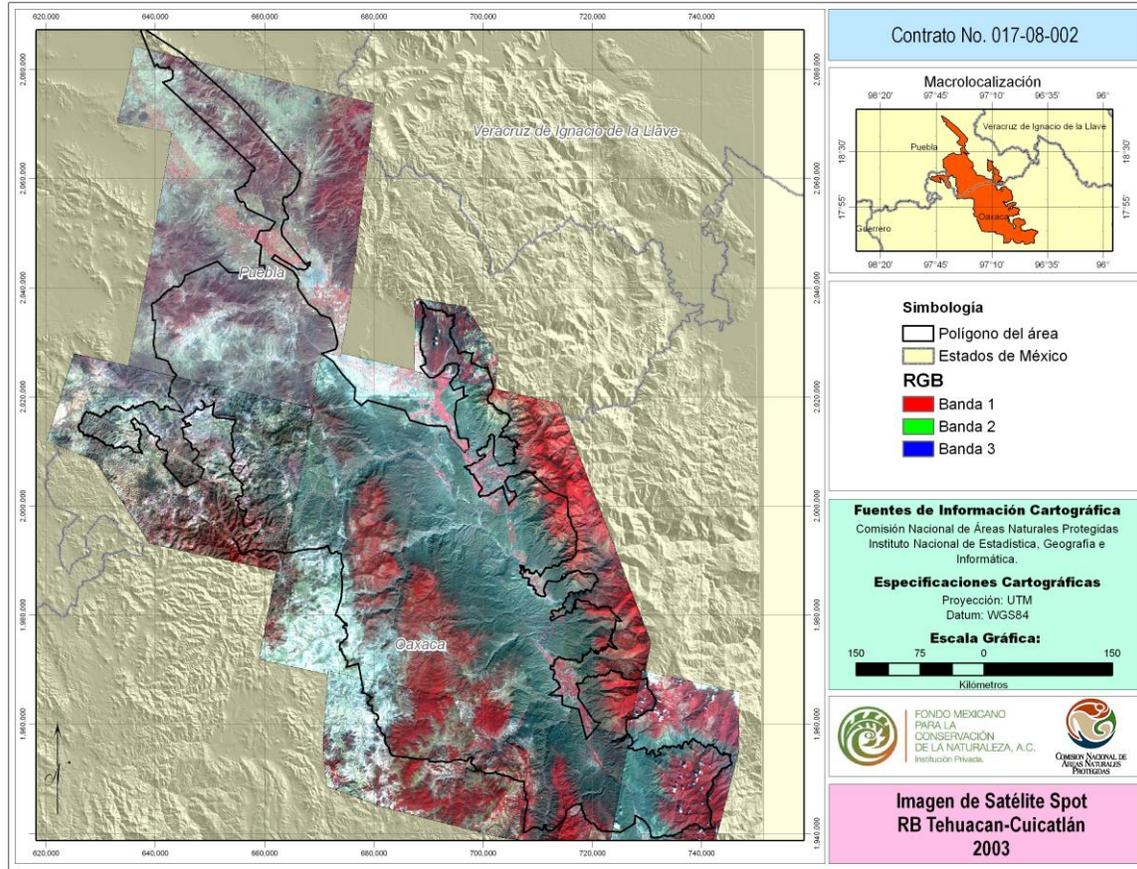


Figura 4.- Imagen de satélite SPOT 2003, falso color RGB 1,2,3.

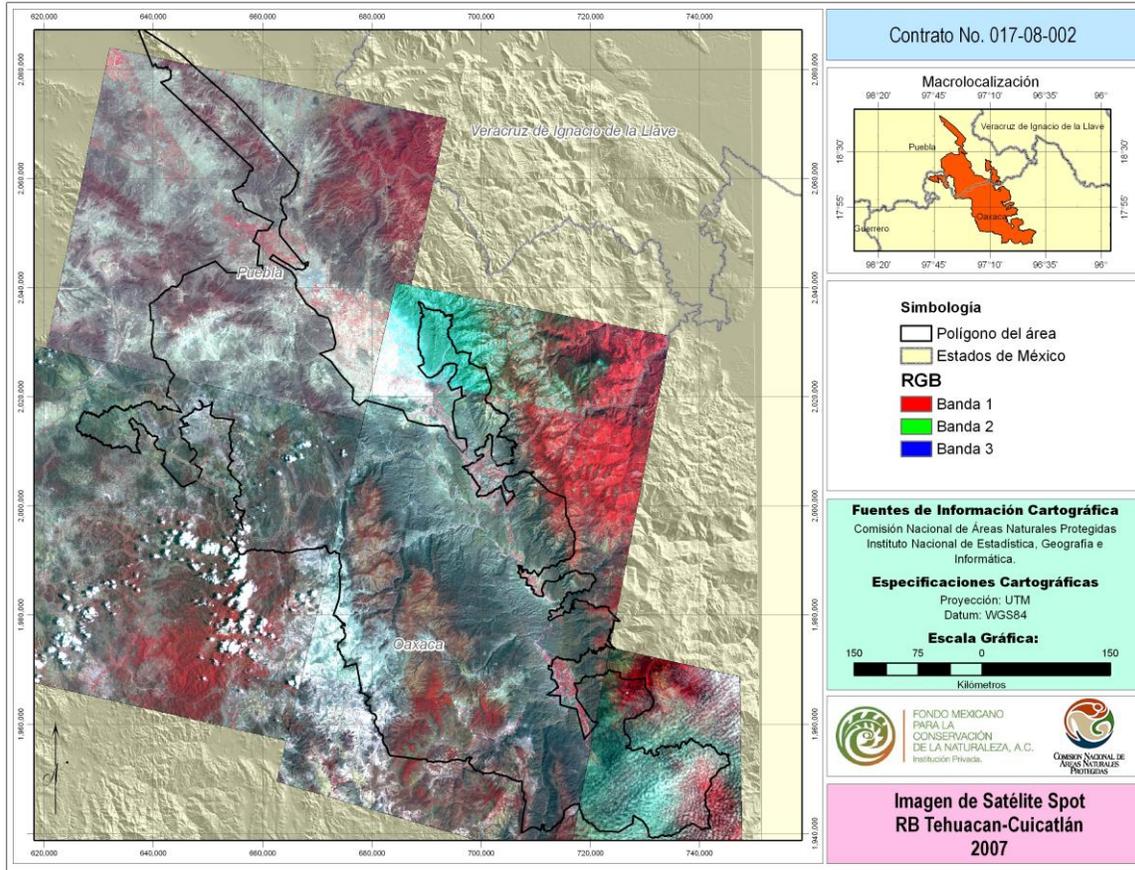


Figura 5.- Imagen de satélite SPOT 2007, falso color RGB

### **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, 2003 y 2007, resultado de la clasificación de las imágenes de satélite Landsat ETM 2000, SPOT 2003 y 2007.

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 80% de la superficie total de la reserva de la biosfera, esta representado por varios elementos, por una parte los Bosques de Pino-Encino por otro lado los matorrales Crasicaule y Desértico y por último y mas amplio la Selva Baja Caducifolia.

Tabla 3.- Superficie de Uso del Suelo y Vegetación para los años 2000, 2003 y 2007

Uso de Suelo y Vegetación	2000		2003		2007	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
<b>Forestal</b>						
Area sin Vegetacion Aparente	7,752	1.58	7,790	1.59	8,608	1.75
Pino	2,283	0.46	1,789	0.36	1,312	0.27
Bosque de Encino	30,019	6.11	28,962	5.90	23,855	4.86
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)	20,202	4.11	20,024	4.08	18,298	3.73
Bosque de Tascate	4,324	0.88	3,899	0.79	3,708	0.76
Chaparral	11,540	2.35	11,529	2.35	10,483	2.14
Matorral Crasicaule	52,980	10.79	52,582	10.71	52,015	10.59
Matorral Desertico Rosetofilo	35,931	7.32	35,902	7.31	33,919	6.91
Mezquital	3,365	0.69	3,365	0.69	3,365	0.69
Bosque Mesofilo	5,076	1.03	5,075	1.03	5,062	1.03
Selva Baja Caducifolia	128,003	26.07	126,423	25.75	125,373	25.54
Bosque de Pino c/ VS	436	0.09	929	0.19	1,407	0.29
Bosque de Encino c/VS	24,698	5.03	25,755	5.25	30,222	6.16
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) c/VS	1,247	0.25	1,278	0.26	2,994	0.61
Bosque de Tascate c/VS	5,491	1.12	5,916	1.21	5,993	1.22
Chaparral c/VS	16,512	3.36	16,522	3.37	17,534	3.57
Matorral Crasicaule c/VS	5,287	1.08	5,278	1.08	5,555	1.13
Matorral Desertico Rosetofilo c/VS	2,047	0.42	2,038	0.42	2,807	0.57
Palmar Inducido	1,376	0.28	1,376	0.28	1,188	0.24
Bosque Mesofilo c/Vsa	1	0.00	1	0.00	1	0.00
Selva Baja Caducifolia c/VS	40,110	8.17	41,325	8.42	41,708	8.50
<b>Subtotal</b>	<b>398,680</b>	<b>81.20</b>	<b>397,759</b>	<b>81.02</b>	<b>395,407</b>	<b>80.54</b>
<b>No Forestal</b>						
Agriculturas	59,828	12.19	60,284	12.28	62,253	12.68
Asentamientos Humanos	849	0.17	868	0.18	911	0.19
Pastizal Inducido	31,598	6.44	32,044	6.53	32,385	6.60
<b>Subtotal</b>	<b>92,275</b>	<b>18.80</b>	<b>93,196</b>	<b>18.98</b>	<b>95,548</b>	<b>19.46</b>
<b>Total</b>	<b>490,955</b>	<b>100</b>	<b>490,955</b>	<b>100</b>	<b>490,955</b>	<b>100</b>

El grupo No Forestal esta constituido principalmente por Agricultura ocupa alrededor del 12% de la superficie total de la reserva, le sigue en importancia los Pastizales con amplias zonas que llegan a ocupar aproximadamente el 6% de la superficie y los Asentamientos Humanos. El conjunto de No Forestal ocupa una superficie aproximada del 19%.

Los mapas (Figura 6) muestran la secuencia de los grupos Forestal y No Forestal en los años 2000, 2003 y 2007. 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 transformadas a través del tiempo debido a actividades humanas.

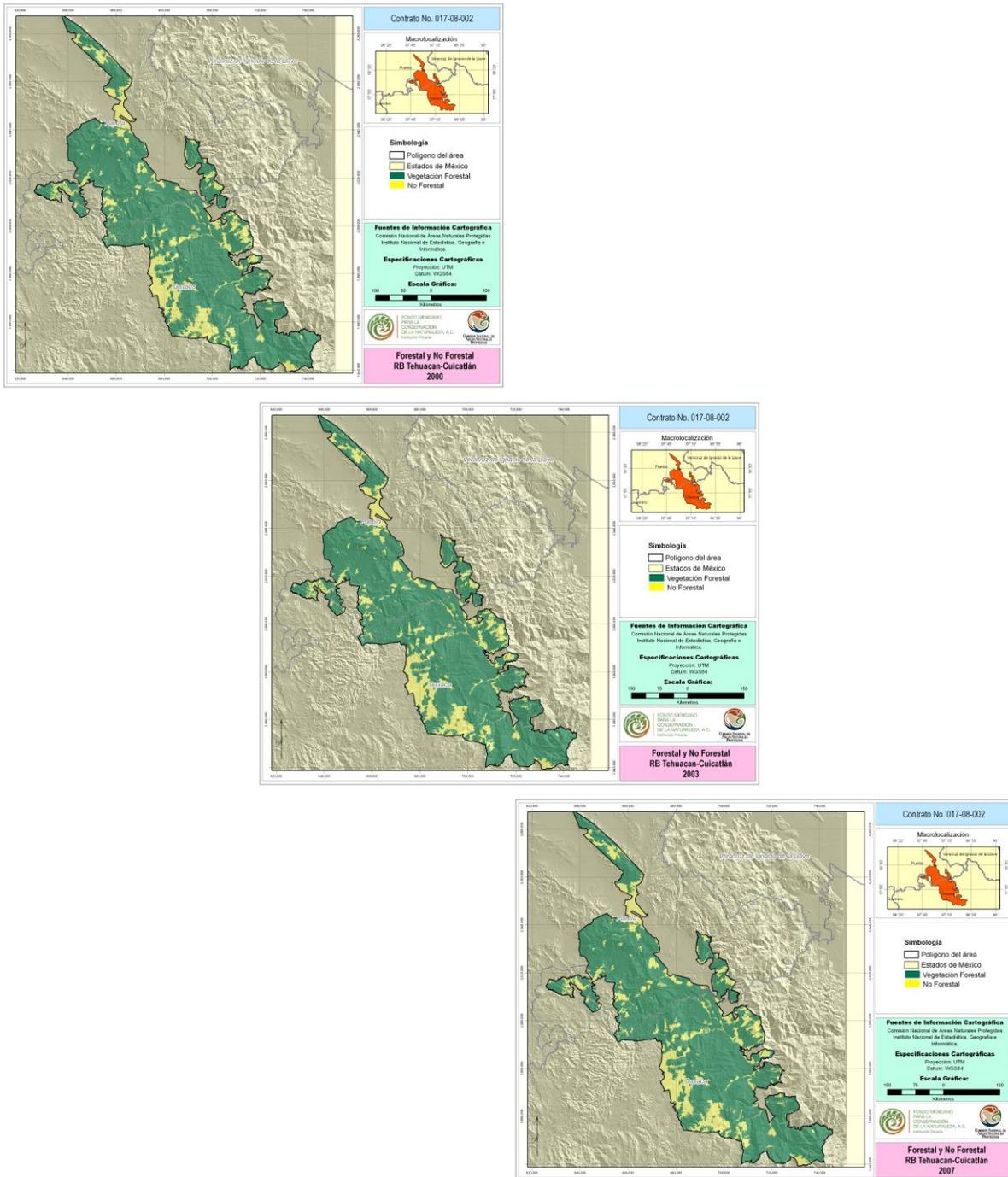


Figura 6.- Grupo Forestal-No Forestal, 2000, 2003 y 2007.

La tabla 4 muestra los datos históricos de superficie obtenidos a partir del año 1989 para la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán. La reserva fue establecida en el año de 1998, dos años posterior a su establecimiento en el 2000 la superficie Forestal era de 398,680 Ha para el año 2007 se registra una superficie de 395,407 Ha, lo que significa que en 7 años se ha transformado una superficie de 3,273 Ha, lo que representa el 0.66% de la superficie total de la reserva.

Tabla 4.- Superficie Forestal-No Forestal histórico.

Años	Forestal (Ha)	No Forestal (Ha)
1989	401,920	89,035
2000	398,680	92,275
2003	397,759	93,196
2007	395,407	95,548

La grafica muestra la tendencia que se ha presentado de la superficie de la vegetación Forestal y No Forestal con datos obtenidos a partir del año 1989. Se presenta una tendencia continua a reducir las áreas de vegetación forestal e incrementar las zonas No Forestal (Figura 7).

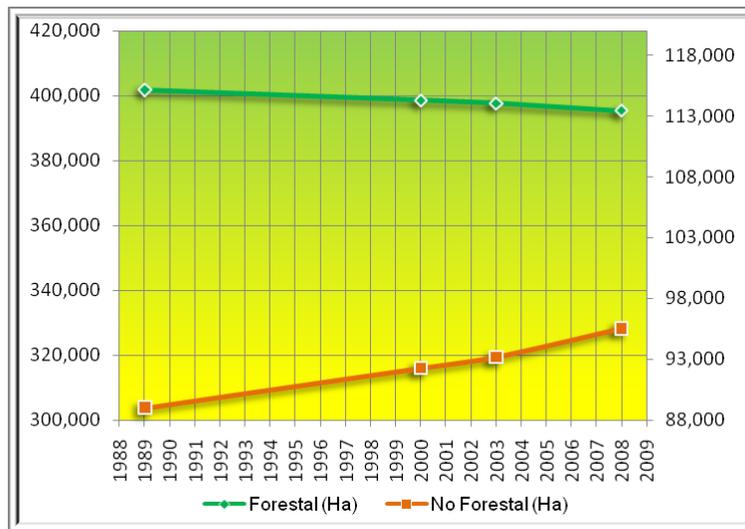


Figura 7.- Comportamiento Forestal-No Forestal de 1989 al 2007.

Como resultado de la clasificación de las imágenes se presentan los mapas con las coberturas para los años 2000, 2003 y 2007(Figura 8, 9 y 10). En donde se puede observar la variedad de colores que corresponde a la diversidad de asociaciones vegetales que van desde el Bosque Mesófilo de Montaña, junto con los bosque de Pino y Encino, la Selva Caducifolia y los Matorrales Desérticos. Sin dejar de mencionar aquellas zonas que han sido transformadas por las actividades humanas y que corresponde a la Agricultura y los Pastizales. En la reserva las zonas urbanas son muy pequeñas debido a que son principalmente localidades, solo se presenta la influencia de la ciudad de Tehuacan hacia la porción Noreste.

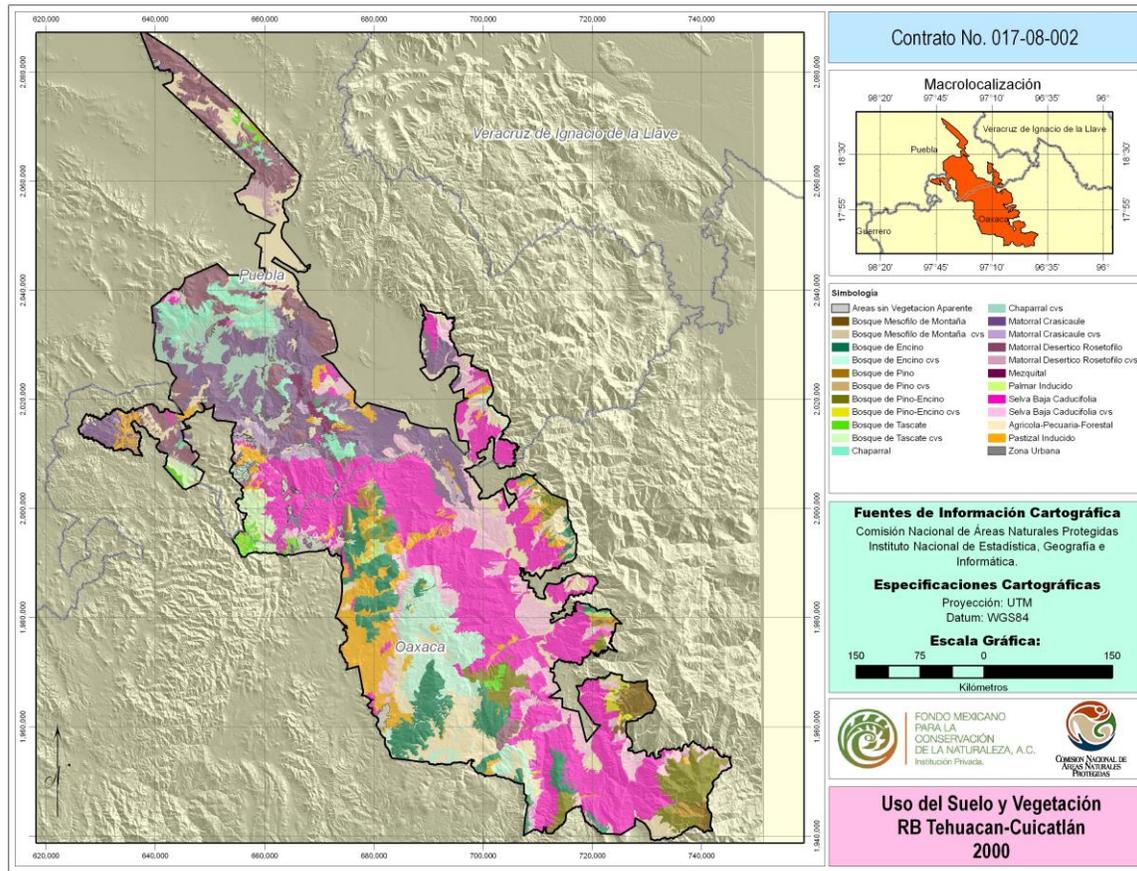


Figura 8.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen Landsat ETM 2000.

Para la reserva de la biosfera Tehuacan-Cuicatlan no fue definida una Zona Núcleo, la zonificación será establecida en el Programa de Conservación y Manejo. En la reserva la porción norte que corresponde al estado de Puebla tiene una dominancia de Matorrales, mientras que la porción sur la zona que corresponde a los límites del estado de Oaxaca se presenta amplias zonas con Selva Baja Caducifolia combinado con Bosques.

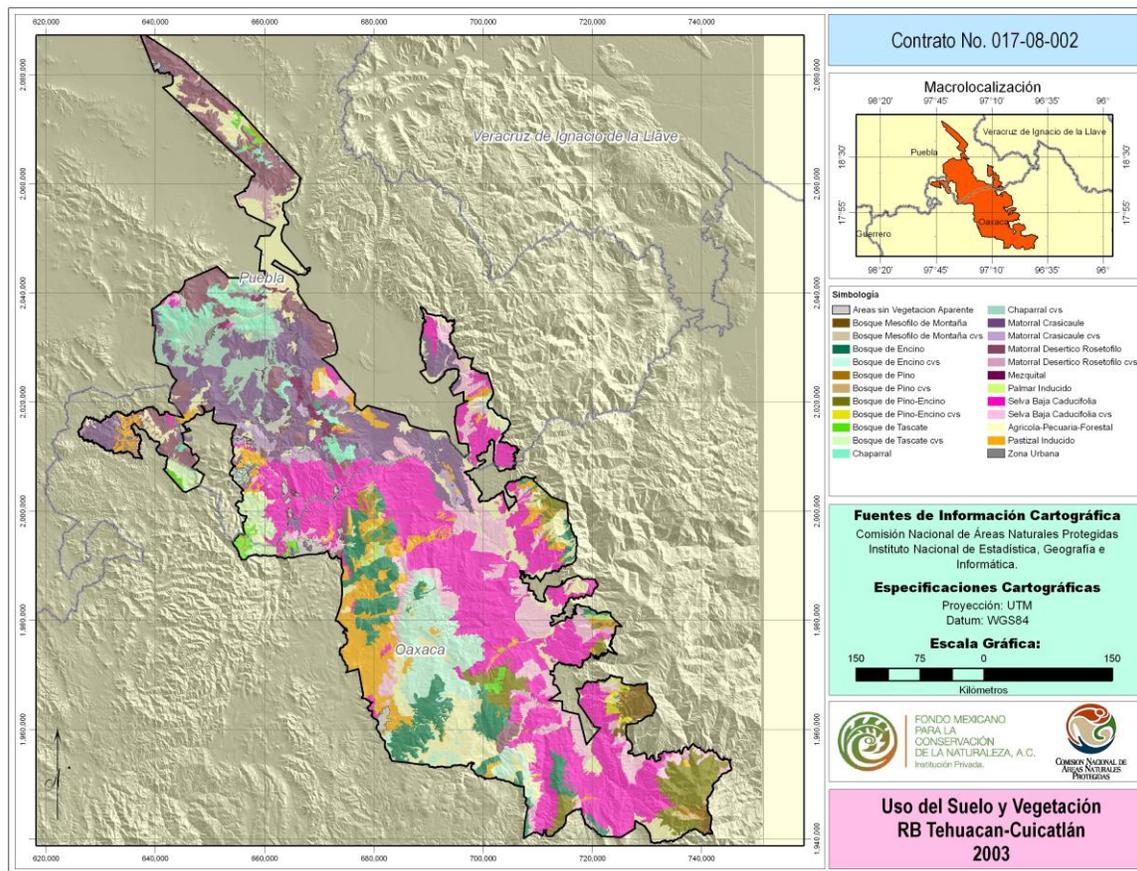


Figura 9.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2003.

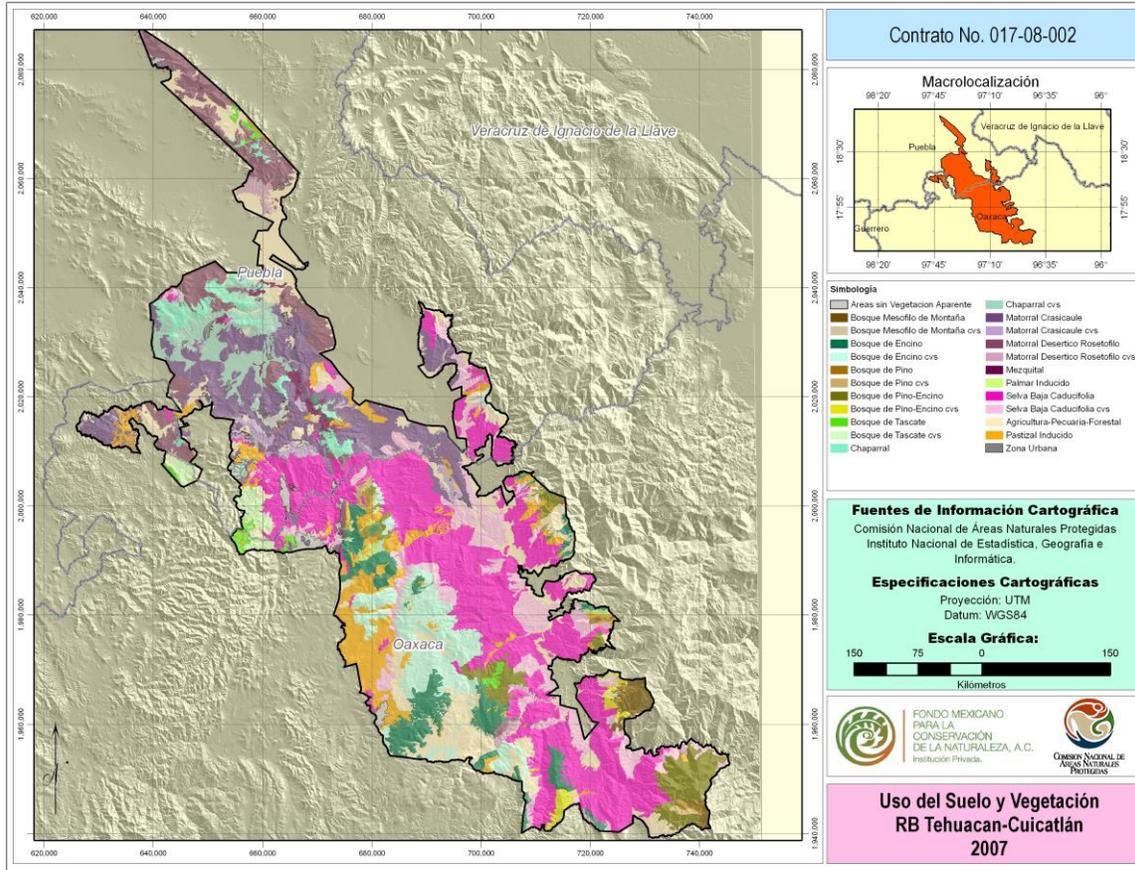


Figura 10.- Uso del Suelo y Vegetación con base en la clasificación de la imagen SPOT 2007.

### Áreas de cambio

En la matriz de transición (Tabla 5 y 6) se reflejan los cambios entre cada periodo. Los dos periodos 2000-2003 y 2003-2007 presentan un comportamiento similar con 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

Tabla 5.- Matriz de transición entre el periodo 2000-2003 para la reserva de la biosfera Tehuacan-Cuicatlán.

Matriz de transición	Area sin Vegetación Aparente	Bosque de Encino	Bosque Mesofilo	Bosque de Pino	Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)	Bosque de Tascate	Matoterral Crasicaule	Chaparral	Matoterral Desertico Rosetofilo	Mezquital	Palmar Inducido	Selva Baja Caducifolia	Bosque de Pino c/VS	Bosque de Encino c/VS	Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) c/VS	Bosque de Tascate c/VS	Chaparral c/VS	Matoterral Crasicaule c/VS	Matoterral Desertico Rosetofilo c/VS	Selva Baja Caducifolia c/VS	Bosque Mesofilo c/VS	Agricultura	Asentamientos Humanos	Pastizal Inducido	Cuerpo de agua	Total 2000	
Area sin Vegetacion Aparente	7,752																									7,752	
Bosque de Encino		28,962											1,057														30,019
Bosque Mesofilo			5,075																		0						5,076
Bosque de Pino				1,789									494														2,283
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)					20,024										31									147			20,202
Bosque de Tascate						3,899										425											4,324
Matoterral Crasicaule							52,582															93		305			52,980
Chaparral								11,529									10										11,540
Matoterral Desertico Rosetofilo	29								35,902																		35,931
Mezquital										3,365																	3,365
Palmar Inducido											1,376																1,376
Selva Baja Caducifolia												126,423									1,215		327		39		128,003
Bosque de Pino c/VS													436														436
Bosque de Encino c/VS														24,698													24,698
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) c/VS															1,247												1,247
Bosque de Tascate c/VS																5,491											5,491
Chaparral c/VS																	16,512							1			16,512
Matoterral Crasicaule c/VS																		5,278									5,287
Matoterral Desertico Rosetofilo c/VS																			2,038				9				2,047
Selva Baja Caducifolia c/VS																					40,110						40,110
Bosque Mesofilo c/VS																						1					1
Agricultura																						59,810	18				59,828
Asentamientos Humanos																							849				849
Pastizal Inducido																							45		31,553		31,598
Cuerpo de agua																											0
<b>TOTAL 2003</b>	<b>7,790</b>	<b>28,962</b>	<b>5,075</b>	<b>1,789</b>	<b>20,024</b>	<b>3,899</b>	<b>52,582</b>	<b>11,529</b>	<b>35,902</b>	<b>3,365</b>	<b>1,376</b>	<b>126,423</b>	<b>929</b>	<b>25,755</b>	<b>1,278</b>	<b>5,916</b>	<b>16,522</b>	<b>5,278</b>	<b>2,038</b>	<b>41,325</b>	<b>1</b>	<b>60,284</b>	<b>868</b>	<b>32,044</b>	<b>0</b>	<b>490,955</b>	

Tabla 6.- Matriz de transición entre el periodo 2003-2007 para Tehuacán-Cuicatlán.

Matriz de transición	Area sin Vegetacion Aparente	Bosque de Encino	Bosque Mesofilo	Bosque de Pino	Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)	Bosque de Tascate	Matoterral Crasicaule	Chaparral	Matorral Desertico Rosetofilo	Mezquital	Palmar Inducido	Selva Baja Caducifolia	Bosque de Pino c/VS	Bosque de Encino c/VS	Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) c/VS	Bosque de Tascate c/VS	Chaparral c/VS	Matoterral Crasicaule c/VS	Matorral Desertico Rosetofilo c/VS	Selva Baja Caducifolia c/VS	Bosque Mesofilo c/VS	Agricultura	Asentamientos Humanos	Pastizal Inducido	Cuerpo de agua	Total 2003
Area sin Vegetacion Aparente	7,790																									7,790
Bosque de Encino		23,855												4,964								54		89		28,962
Bosque Mesofilo			5,062																					14		5,075
Bosque de Pino				1,312									478													1,789
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)					18,298										1,726											20,024
Bosque de Tascate						3,708										191						115				4,014
Matoterral Crasicaule							52,015											282				286				52,582
Chaparral								10,483									1,047									11,529
Matorral Desertico Rosetofilo	319								33,919									769				857		38		35,902
Mezquital										3,365																3,365
Palmar Inducido											1,188													187		1,376
Selva Baja Caducifolia	500											125,373									535		15			126,423
Bosque de Pino c/VS													929													929
Bosque de Encino c/VS														25,258								497				25,755
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) c/VS															1,268									10		1,278
Bosque de Tascate c/VS																5,801										5,801
Chaparral c/VS																	16,487						35			16,522
Matoterral Crasicaule c/VS																		5,274					2	3		5,278
Matorral Desertico Rosetofilo c/VS																			2,038							2,038
Selva Baja Caducifolia c/VS																					41,173		152			41,325
Bosque Mesofilo c/VS																					1					1
Agricultura																						60,278	6			60,284
Asentamientos Humanos																							868			868
Pastizal Inducido																								32,044		32,044
Cuerpo de agua																										0
<b>TOTAL 2007</b>	<b>8,608</b>	<b>23,855</b>	<b>5,062</b>	<b>1,312</b>	<b>18,298</b>	<b>3,708</b>	<b>52,015</b>	<b>10,483</b>	<b>33,919</b>	<b>3,365</b>	<b>1,188</b>	<b>125,373</b>	<b>1,407</b>	<b>30,222</b>	<b>2,994</b>	<b>5,993</b>	<b>17,534</b>	<b>6,325</b>	<b>2,038</b>	<b>41,708</b>	<b>1</b>	<b>62,253</b>	<b>911</b>	<b>32,385</b>	<b>0</b>	<b>490,955</b>

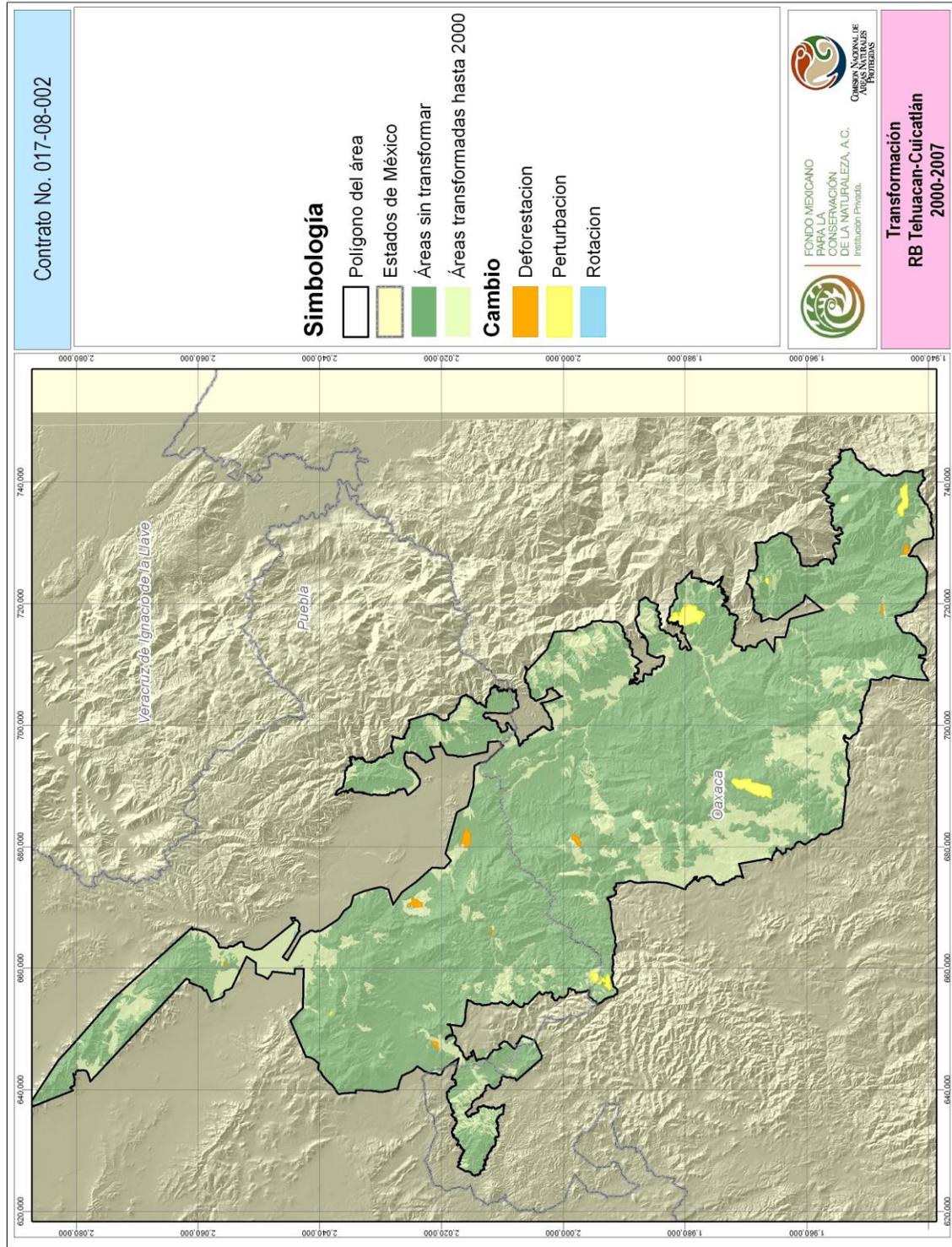


Figura 11.- Áreas de cambio 2000-2007.

La figura 11, muestra las áreas de cambio que se presentaron en el periodo 2000-2007. En general el color verde muestra las áreas que no ha sufrido transformación y las zonas en color verde claro aquellas zonas que han sido transformadas por actividades antrópicas hasta el año 2000.

Las zonas de deforestación se muestran en color naranja y las áreas de perturbación en color amarillo. Mientras que la zona de revegetación se indica con una tonalidad verde más intenso; el color cyan representa las rotaciones que predominan en las áreas no forestales. Es importante notar que las dos primeras zonas se encuentran bien focalizadas.

Las tablas 7 y 8 muestran la superficie de los tipos de vegetación que es afectada por actividades humanas. En el periodo 2000-2003, los pastizales tienen un impacto en los tipos de vegetación de Bosque de Pino-Encino, Matorral Crasicaule y Selva Baja Caducifolia, en tanto que la agricultura tiene una afectación sobre Matorral Crasicaule y Selva Baja Caducifolia y el Matorral Desértico Rosetófilo. En total en el periodo se transformaron 920 Hectáreas que representan 307 Ha/Año.

Tabla 7.- Superficie de vegetación afectada por actividades humanas periodo 2000-2003.

<b>Transformación en el periodo 2000-2003</b>	<b>Agriculturas</b>	<b>Asentamientos Humanos</b>	<b>Pastizal Inducido</b>
Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino)			-147
Tascate			
Matotorral Crasicaule	-93		-305
Selva Baja Caducifolia	-327		-39
Chaparral c/VS		-1	
Matorral Desértico Rosetofilo c/VS	-9		
<i>Subtotal</i>	<b>-429</b>	<b>-0.51</b>	<b>491.06</b>
<b>Total</b>	<b>-920</b>	Ha en 3 años	
<b>Total</b>	<b>-307</b>	Ha por año	

Para el periodo 2003-2007, la agricultura tiene una mayor superficie de transformación sobre varios tipos de vegetación, principalmente sobre el Matorral Desértico Rosetófilo y el Bosque de Encino. Mientras que los pastizales afectaron principalmente los bosques. Los asentamientos humanos tienen menor impacto sobre los ecosistemas. En total en el periodo se transformaron 2,352 Hectáreas que representan 588 Ha/Año.

Tabla 7.- Superficie de vegetación afectada por actividades humanas periodo 2003-2007.

Transformación en el periodo 2003-2007	Agriculturas	Asentamientos Humanos	Pastizal Inducido
Bosque de Encino	-54		-89
Bosque Mesofilo			-14
Bosque de Tascate	-115		
Matorrall Crasicaule	-286		
Matorral Desértico Rosetófilo	-857		-38
Palmar Inducido			-187
Selva Baja Caducifolia	-15		
Encino c/VS	-497		
Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) c/VS			-10
Chaparral c/VS		-35	
Matorral Crasicaule c/VS		-2	-3
Selva Baja Caducifolia c/VS	-152		
<i>Subtotal</i>	<b>-1,975</b>	<b>-36</b>	<b>-341</b>
<b>Total</b>	<b>-2,352</b>	Ha en 3 años	
<b>Total</b>	<b>-588</b>	Ha por año	

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

En la tabla 8, se puede observar que dentro del periodo 2000-2003 se transformaron 920 Ha y para el 2004-2008, 2,352 Ha, lo que representa una tasa de 0.08% para el periodo 2000-2003 y 0.15% para el periodo 2003-2007.

Tabla 8.- Tasa de transformación del hábitat

Período	s1	s2	Cambio(HA)	Año	Tasa de cambio	(%) Tasa de cambio anual	HA/año
2000-2003	398,680	397,759	-920	3	0.0008	0.08	307
2003-2007	397,759	395,407	-2,352	4	0.0015	0.15	588

Entre los dos periodos se presenta un ligero incremento, el comportamiento general tiende a incrementarse, como lo muestra el conjunto de datos de las fechas anteriores (Tabla 9). La Figura 12, muestra la tendencia de la tasa de transformación a partir del año 1989, con una tendencia a incrementar la tasa a través del tiempo.

Tabla 9.- Tasa de transformación del hábitat histórica

Período	S1	S2	Cambio (Ha)	Año	Tasa de cambio	Tasa de cambio anual (%)
1989-2000	401,920	398,680	-3,240	11	0.0007	0.07
2000-2003	398,680	397,759	-920	3	0.0008	0.08
2003-2007	397,759	395,407	-2,352	4	0.0015	0.15



Grafica 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 81.20%, 2003 81.02% y 2007 80.54%, domina la vegetación de Selva Baja Caducifolia. En tanto que el grupo No Forestal ocupa un porcentaje en el año 2000 18.80%, 2003 19.98% y 2007 19.46%, en donde el uso de suelo Agrícola es el que esta mas representado.

La tasa de transformación que se presento en el periodo 2000-2003 fue de 0.08% que representa un cambio de 307 Ha/año transformándose en el periodo de 3 años un total de 920 Ha. Mientras que en el periodo 2003-2007 se estimó una tasa de transformación de 0.15% que representan 588 Ha/año con una transformación total el un periodo de 4 años de 2,352 Ha.

Existe una tendencia general a continuar la transformación del hábitat, a través del tiempo aunque parece ser que la transformación se encuentra en pocos sitios de la reserva.

## 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 en la reserva de la biosfera "La Encrucijada", Periodo 1975-2000. Informe Final septiembre de 2003, 30 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.

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

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. Diagnóstico 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 United Nations Remote Sensing Applications to Land Resource. Italy, Rome. Pp 41-97.

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