

**Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas  
Dirección Regional Planicie Costera y Golfo de México**



**“ACTUALIZACIÓN DE LA TASA DE CAMBIO  
DEL USO DEL SUELO EN LA RESERVA DE LA  
BIOSFERA LOS TUXTLAS”**

**INFORME FINAL**



**PROYECTO SIERRA DE SANTA MARTA, A. C.**

## INDICE

	Pág.
<b>RESUMEN</b> .....	2
<b>INTRODUCCION</b> .....	4
<b>I. ANTECEDENTES</b> .....	7
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	21
<b>III. AREA DE ESTUDIO</b> .....	22
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	24
<b>V. RESULTADOS</b> .....	34
1. Imágenes ortorectificadas híbridas y multiespectral.....	34
2. Mosaicos de la región.....	35
3. Mapa de Uso del Suelo y Vegetación 2011 de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas.....	40
4. Superficie transformada y tasa de cambio 2007-2011 en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas.....	47
5. Tasa de transformación del hábitat en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas durante el periodo 1980-2011.....	49
6. Áreas críticas por atender en las Zonas Núcleo de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas .....	53
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	60
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	62

# **“ACTUALIZACIÓN DE LA TASA DE CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA LOS TUXTLAS”**

## **Informe final**

### **RESUMEN**

El Proyecto Sierra de Santa Marta, A. C. presenta los resultados del estudio que elaboró para actualizar la cartografía del uso del suelo y la vegetación de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas utilizando imágenes de satélite 2011. El objetivo del estudio fue disponer de datos actualizados y confiables que permitan monitorear los procesos de cambio en la cobertura vegetal ocurridos en el territorio de la Reserva de la Biosfera durante el periodo 2007-2011.

Se rectificaron y procesaron cinco imágenes SPOT para la clasificación del uso del suelo y la vegetación 2011 de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, analizando 209,883.9 ha, superficie que comprende las 155,067 ha decretadas como ANP y una zona buffer de cinco kilómetros alrededor del límite de la zona de amortiguamiento. Se clasificaron 19 categorías de uso del suelo y vegetación para la Región de Los Tuxtlas, agrupadas en tres conjuntos: 1) Forestal con 11 categorías que incluyen vegetación primaria y estados sucesionales; 2) No Forestal con 4 categorías de actividades humanas; y, 3) Otros, con 4 categorías: cuerpos de agua, dunas y playas, nubes y áreas no cartografiables.

La cobertura forestal de la reserva se redujo de 46.38% en 2007 a 45.79% en 2011 (70,996 Ha), en tanto que los pastizales, cultivos, asentamientos humanos y suelos sin vegetación sumaron 82,145 ha, que equivalen al 53% del territorio decretado como Reserva.

En el periodo 2007-2011 hubo una pérdida de cubierta forestal de 928 hectáreas. La tasa de deforestación estimada para este periodo fue de 0.32 % por año, con una pérdida de 232 hectáreas promedio por año.

El uso del suelo dominante en la reserva son los pastizales inducidos, cuya cobertura representa el 51% del territorio de la ANP cubriendo 78,970 ha.

Se estimó que en la reserva se conservan 45,621 hectáreas de vegetación primaria, principalmente de bosque tropical perennifolio, bosque mesófilo de montaña, manglar, vegetación de zonas inundables y costera (29.4% de la superficie de la reserva). La vegetación perturbada y la vegetación secundaria suman 25,375 ha, que equivalen al 16.36% de la superficie de la ANP.

Los tipos de vegetación más importantes por cobertura son: 1). El Bosque Tropical Perennifolio y su vegetación secundaria (54,317 ha), que representan el 35% de la superficie de la ANP Los Tuxtlas; y, 2) El Bosque Mesófilo de Montaña y la vegetación secundaria de ésta que cubre el 6% de las partes medias y altas de los tres grandes volcanes (9,506.57 Ha).

Durante el periodo 1980-2011, se han perdido 30,074 ha forestales en el actual territorio decretado como Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, superficie que equivale al 19.41% del territorio de la ANP. La tasa promedio de transformación del hábitat en Los Tuxtlas durante 31 años (1980-2011), descendió a 1.15% anual.

Se identificaron 11 áreas críticas o de atención prioritaria en las tres Zonas Núcleo de la Reserva de la Biosfera. En estas áreas se observó pérdida de la cubierta forestal por presión humana o por desastres naturales, la cual debe ser monitoreada y atendida por las autoridades ambientales y la Dirección de la Reserva, ofreciendo alternativas para detener el proceso de transformación dentro de las zonas núcleo.

# **“ACTUALIZACIÓN DE LA TASA DE CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA LOS TUXTLAS”**

## **Informe final**

**M. en C. Fernando Ramírez Ramírez  
Proyecto Sierra de Santa Marta, A. C.**

### **INTRODUCCIÓN**

El aprovechamiento y conservación de la biodiversidad para elevar la calidad de vida de las sociedades humanas es el paradigma central de la bioconservación. La flora y la fauna de México, a pesar de su enorme riqueza y de su gran valor real o potencial, se encuentra hoy en día seriamente amenazada por las diversas actividades humanas (Toledo, 1999). Dado que la extinción y desaparición de las especies vegetales y animales tienen como causa principal la destrucción de los hábitats, los enfoques principales a partir de los cuales podemos hacernos una idea de la magnitud o tendencias de estas amenazas sobre la diversidad biológica, son básicamente de dos tipos: por una parte, la evaluación de la deforestación en los principales ecosistemas (Maser, 1996, 1997; Mendoza, 1997, 1999; Dirzo y García, 1992; Trejo y Dirzo, 2000; Ochoa-Gaona y González-Espinosa, 2000) y por otra, los estudios que han generado listas de especies amenazadas y en peligro de extinción (Ceballos y Navarro 1991; Ceballos 1993; Flores Villeda y Gerez, 1988; Toledo 1988).

Aunque los patrones y tendencias de la deforestación en los ecosistemas mayores han sido estudiados en formas distintas, los aspectos más notables de estos análisis indican que en México a finales de los años 80's y principios de los 90's, existe una pérdida de la cubierta forestal de 668, 000 ha cada año (Maser, 1997), con un 80% de la deforestación concentrada en el Centro y el Sureste del país, con áreas forestales perturbadas que alcanzan los 804, 000 ha; con un 28% de selvas (6.9 millones de ha) y de un 10% a 15% de bosques (3.5 millones de ha) fragmentados. De continuar con dichas tendencias actuales se perdería el 50% de la superficie forestal actual para el año 2030 (Maser, 1996).

En cuanto a los tipos de conversión de la cubierta vegetal, es claro que la expansión ganadera ha sido el principal factor de deforestación en las zonas tropicales. En fuego también ha dañado notoriamente a los bosques de coníferas (30%), bosques templados (40%), las selvas húmedas (20%) y las selvas bajas (30%) (Masera, 1996). Esta conversión en el cambio del uso del suelo por la ganadería, la agricultura y las áreas urbanas, es claramente una evidencia de la política agropecuario – forestal que tiene el país, de la falta de visión y planeación por parte de las instituciones gubernamentales, y de la mala distribución de las tierras, que han originado un incremento y uso desmedido de los recursos naturales.

El panorama antes descrito se confirma con los estudios de casos, más locales, en los cuales la información es un poco más precisa. Por ejemplo, para la selva de los Tuxtlas, en el estado de Veracruz, se han estimado tasas de deforestación anual de 4.2% (Dirzo y García, 1992), en Chiapas de 1.58 a 2.13% para Huistán y 0.46 a 3.42% para Chanal (Ochoa – Gaona, *et al.* 2000), mientras que para la Lacandona se reportan promedios que van de 3.31 a 2.14% (Mendoza, 1997; Mendoza, *et al.* 1999) y 1.4% para el estado de Morelos (Trejo, *et al.* 2000) como lo indica la tabla 1.

En la actualidad las únicas superficies forestales remanentes empiezan a verse solamente en aquellas áreas oficialmente protegidas o en zonas casi inaccesibles o de muy poco valor comercial; esto significa, que el país vería reducida su vegetación natural a 32.5% del total de su territorio a diez años, a 25 % en veinte años y a sólo 17.5% en tres décadas (Toledo, 1988).

Los estudios de deforestación y el uso de los sistemas de información geográfica constituyen herramientas de sumo valor para el manejo y conservación de recursos naturales, sentando las bases para profundizar en los aspectos ecológicos, demográficos y de conservación asociados a la deforestación. La construcción de escenarios -a partir de diversos instrumentos cualitativos y cuantitativos- permite prever, a corto y a mediano plazos, posibles impactos sobre la biodiversidad en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas. Una de las intenciones fundamentales al

elaborar las proyecciones de deforestación es la de prever de la manera más precisa posible, la situación en la que se encontrará la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas en el mediano y largo plazo, en caso de continuar las tendencias demográficas y socioeconómicas vigentes, enfocando el análisis en la influencia que tendrán sobre la biodiversidad local. Este tipo de análisis, también llamados “de desarrollo autónomo” (de Meijere, Mardanus y van de Kastele, 1988), permiten precisar aspectos críticos no abordados por las políticas gubernamentales y que pueden acarrear situaciones conflictivas para el bienestar local, regional y nacional. Estas previsiones pueden ser la base para reorientar las acciones de la dirección de la reserva y de las autoridades ambientales encargadas de esta área natural protegida.

En este documento se presentan los resultados del estudio que elaboró el Proyecto Sierra de Santa Marta, A. C. para actualizar la cartografía del uso del suelo y la vegetación de la Reserva e la Biosfera Los Tuxtlas procesando y clasificando tres imágenes de satélite SPOT de febrero y abril de 2011. Los resultados obtenidos permiten a la Dirección de la Reserva de la Biosfera y a la Oficina Regional Planicie Costera y Golfo de México de la CONANP, disponer de datos actualizados y confiables que facilitan el monitoreo de los procesos de cambio en la cobertura de vegetación ocurridos en el territorio de la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas. Asimismo, los resultados obtenidos contribuyen a identificar las áreas críticas y de mayor presión humana en la reserva, para planificar las acciones de conservación y manejo del área identificando las amenazas y riesgos que enfrentan los recursos naturales de la ANP en el corto y mediano plazos.

## I. ANTECEDENTES

### 1. Estudios y mapas de la vegetación de la Región de Los Tuxtlas

Leopold (1950) clasificó a la vegetación de la Sierra de Los Tuxtlas como “rain forest” o “bosque lluvioso” en las parte bajas y húmedas y “cloud forest” o “bosque nublado” en los picos templados y escarpes. En la siguiente década, Andrieu (1964) elaboró una clasificación más completa de la vegetación de la región, misma que incluye un esquema que muestra la distribución geográfica aproximada de 10 formaciones vegetales: rain forest, cloud forest, gum-oak forest, pine-oak forest, oak forest, savanna, littoral, mangrove, forest remnant with palms, y forest remnant and open areas. Por su parte, Ross (1967), en su tesis doctoral sobre los lepidópteros de Los Tuxtlas, detalló la anterior clasificación de la vegetación y la clasificó en 13 formaciones vegetales primarias y 3 secundarias, adoptando la clasificación de Beard (1944, 1955) a los tipos primarios de Los Tuxtlas. El mapa de vegetación potencial de Ross (1967) es más representativo de la diversidad de la vegetación regional.

Sousa (1968) realizó el estudio florístico y de vegetación más detallado que se ha publicado sobre la región de Los Tuxtlas. Sousa reagrupó las formaciones de Andrieu (1964) en nueve tipos de vegetación, adecuándolas a la clasificación de Miranda y Hernández X. (1963) con algunas categorías particulares, de manera que los tipos de vegetación de la Sierra de Los Tuxtlas, de acuerdo con él, son: selva alta perennifolia, manglar, vegetación riparia y de esteros, selva mediana subcaducifolia, sabana, bosque caducifolio, encinares, pinar y vegetación costera.

En la cartografía de la vegetación de la región de Los Tuxtlas que se ha publicado en forma posterior a los trabajos antes citados, la representación de la vegetación de la región es incompleta y poco precisa dado las diferencias de escalas. Así, por ejemplo, en el mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana, preparado por Flores *et al.* (1971), se clasifica a la vegetación de la región de Los Tuxtlas como selva alta perennifolia, bosque caducifolio, bosque de encinos y manglar. Rzedowski (1978) incluye toda la región dentro de la categoría de bosque tropical perennifolio en el mapa que acompaña su obra a nivel nacional, por problemas de escala, aunque en la

descripción de los tipos de vegetación que menciona para la región de Los Tuxtlas incorpora muchos más tipos de vegetación, principalmente a partir de la información que proporcionan Sousa (1968) y Sarukhán (1968a).

El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1984) cartografió la vegetación y uso del suelo del sur de Veracruz a escala 1:250,000. En estas cartaa se identifica para la Sierra de Santa Marta la existencia de selva alta perennifolia, bosque de pino, bosque de *Quercus*, palmar y manglar, omitiendo el bosque mesófilo de montaña, el cual sí se indica para el volcán San Martín Tuxtla. Estas omisiones fueron corregidas en la información cartográfica del Inventario Forestal Nacional 2000-2001, escala 1:250,000 y la cobertura de Uso del Suelo y Vegetación de INEGI Serie III.

Guevara, *et. al* (2004), recogen en su libro "Los Tuxtlas. El paisajes de la sierra", diversos estudios de aspectos del medio físico y biológico de la región, incluyendo el proceso de deforestación y fragmentación de la selva durante el periodo 1972-1993. En este volumen se publican mapas de vegetación y uso del suelo, de geomorfología, tipos de suelos, de ríos y lagos y de población a escala regional. Los mapas y datos de deforestación abarcan 21 años de este proceso hasta 1993, cinco años antes de la declaratoria de la Reserva de la Biosfera.

## **2. Estudios de vegetación en el macizo del volcán San Martín Tuxtla y en la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas de la UNAM**

Los estudios botánicos y de ecología vegetal se han desarrollado básicamente en los terrenos de la Estación de Biología Tropical "Los Tuxtlas" de la Universidad Nacional Autónoma de México y sus vecindades, a partir de su establecimiento en 1967 (Lot-Helgueras, 1976; Gómez Pompa *et al.*, 1976; Gómez-Pompa y del Amo, 1985). Algunos de los estudios han versado sobre distintos aspectos de la composición, estructura, distribución espacial y temporal de la selva que cubre la estación (Flores, 1971; Carabias, 1979; Martínez-Ramos, 1980; Bongers *et al.*, 1988; Popma *et. al.*, 1988). Descripciones generales o detalladas de la vegetación de la estación de Los Tuxtlas se encuentra en Estrada *et al.* (1985) e Ibarra-Manríquez *et al.* (1997). Un análisis sobre la composición y aspectos de la riqueza de la flora de la Estación se

encuentran en Ibarra-Manríquez (1985), Ibarra-Manríquez y Sinaca (1987, 1995, 1996a, 1996b, 1997) y Riba y Pérez-García (1997).

En relación a estudios de áreas fuera de los terrenos de la Estación destacan los trabajos de Álvarez del Castillo (1977), quien describió la estructura y composición florística de la selva baja perennifolia y la sabana del cráter del volcán San Martín Tuxtla; el trabajo de Menéndez (1976), que analiza con detalle la composición y estructura de los manglares de la laguna de Sontecomapan, y el estudio de Toledo (1969) sobre los patrones de diversidad de las especies de las selvas altas de México, el cual incluyó muestreos en secuencia altitudinal en el Cerro el Vigía de Santiago Tuxtla y el volcán San Martín Tuxtla. Este último autor reconoce cinco tipos de vegetación cuya diversidad disminuye proporcionalmente con la altitud: selva alta perennifolia (0-700 m s.n.m.), selva de lauráceas (700-850 m), bosque de liquidámbar y encino (850-1100 m), bosque de *Ulmus mexicana* y *Meliosma* sp. (1100-1400 m) y selva baja perennifolia (1400-1700 m).

Los trabajos de García (1988) y Dirzo (1991) dan una visión sintética de un espacio mayor al de la Estación de Los Tuxtlas. En estas contribuciones se describe la vegetación con enfoques particulares. García (1988) presenta un reconocimiento digitalizado de los paisajes ecológicos de un área de 900 km<sup>2</sup> que comprende el volcán San Martín Tuxtla y la porción norte de la región. La autora aporta un análisis del proceso de deterioro de la cubierta forestal entre 1976 y 1986, además de un mapa a escala 1:50,000 donde muestra las siguientes asociaciones vegetales: elfin forest de *Oreopanax-Clusia* (1400-1700 msnm); *Quercus-Ulmus* forest (1000-1300 m); *Chionanthus-Ulmus-Randia* forest (800-1130 m); *Belotia-Maclura* forest (400-900 m); *Virola-Juglans-Chionanthus* forest (400-900 m); rain forest (0-700 m); disturbed rain forest (0-700 m); old and young secondary vegetation (100-500 m); grasslands: *Paspalum-Cynodon* (700-1000 m); grassland-trees (100-300 m); grassland (0-300 m); crops, maize.

Por su parte, Dirzo (1991), en su propuesta de creación de un corredor de conexión biológica entre las selvas de la Estación de Biología Tropical de Los Tuxtlas y la reserva

del volcán San Martín, Tuxtla (150-1720 m s.n.m.), reconoce diez hábitats típicos a los que denomina: selva alta perennifolia (0-500 m); selva alta perennifolia sobre pedregal; selva mediana perennifolia (550-700 m): *Rheedia edulis*-*Chamaedorea ernesti-augustii*; selva de altura con liquidámbar (700-900 m): *Liquidambar*-*Ulmus*-*Juglans*; selva de encinos (900 - 1,000 m): *Quercus*-*Astrocaryum*-*Chamaedorea*-*Cecropia*; selva alta perennifolia de altura (1000-1300 m): *Juglans*; bosque tropical nuboso (1200-1500 m), bosque enano (cima del volcán): *Clussia*-*Oreopanax*

### **3. Estudios y mapas de la vegetación de la Sierra de Santa Marta**

Los estudios botánicos en la Sierra de Santa Marta comprenden el trabajo de Lira y Riba (1984), quienes evaluaron la riqueza pteridológica de los diferentes tipos de vegetación, el patrón de distribución altitudinal de las especies y la incidencia de epifitismo con respecto a la altitud. Gutiérrez Carbajal (1983) presentó un análisis somero del medio físico y la descripción y cartografía de las comunidades vegetales que rodean a la Laguna del Ostión; posteriormente Bozada y Chávez (1986) en su estudio de la fauna acuática de dicha laguna presentaron también un mapa y la descripción de la vegetación de los alrededores de dicha laguna. Cházaro (1986) hizo una descripción fisonómica-florística general de las principales agrupaciones vegetales de las cuencas de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá. En este trabajo el autor proporciona algunas observaciones sobre la vegetación de las laderas meridionales del volcán Santa Marta y las comunidades vegetales de las tierras bajas de Pajapan.

Ramírez, F. (1999) estudió la vegetación, la composición florística y el proceso de deforestación de 136,000 hectáreas del macizo sureste de la región de Los Tuxtlas conocido como Sierra de Santa Marta. El autor registra 2,368 especies de plantas vasculares y describe 15 tipos de vegetación siguiendo la clasificación de Miranda y Hernández X. (1963) y que se sintetizan en 9 tipos de vegetación de acuerdo a la clasificación de Rzedowski (1978): Bosque tropical perennifolio, Bosque mesófilo de montaña, Bosque tropical subperennifolio, Bosque tropical subcaducifolio, Bosque de *Quercus*, Bosque de coníferas (Pinar tropical), Vegetación acuática y subacuática, Vegetación halófila y Pastizal (Sabana), la distribución de estos tipos de vegetación

se puede observar en la Fig. 1. El autor elaboró mapas de vegetación y uso del suelo a escala 1:50,000 a partir de la interpretación de aerofotos de 1958, 1967, 1976 y 1991. Mediante un Sistema de Información Geográfica se analizó el proceso de deforestación del área y por tipo de vegetación entre 1958 y 1991, periodo en el que se perdieron 65,780 hectáreas de selvas y bosques, equivalentes al 63% de la superficie forestal existente en 1958.

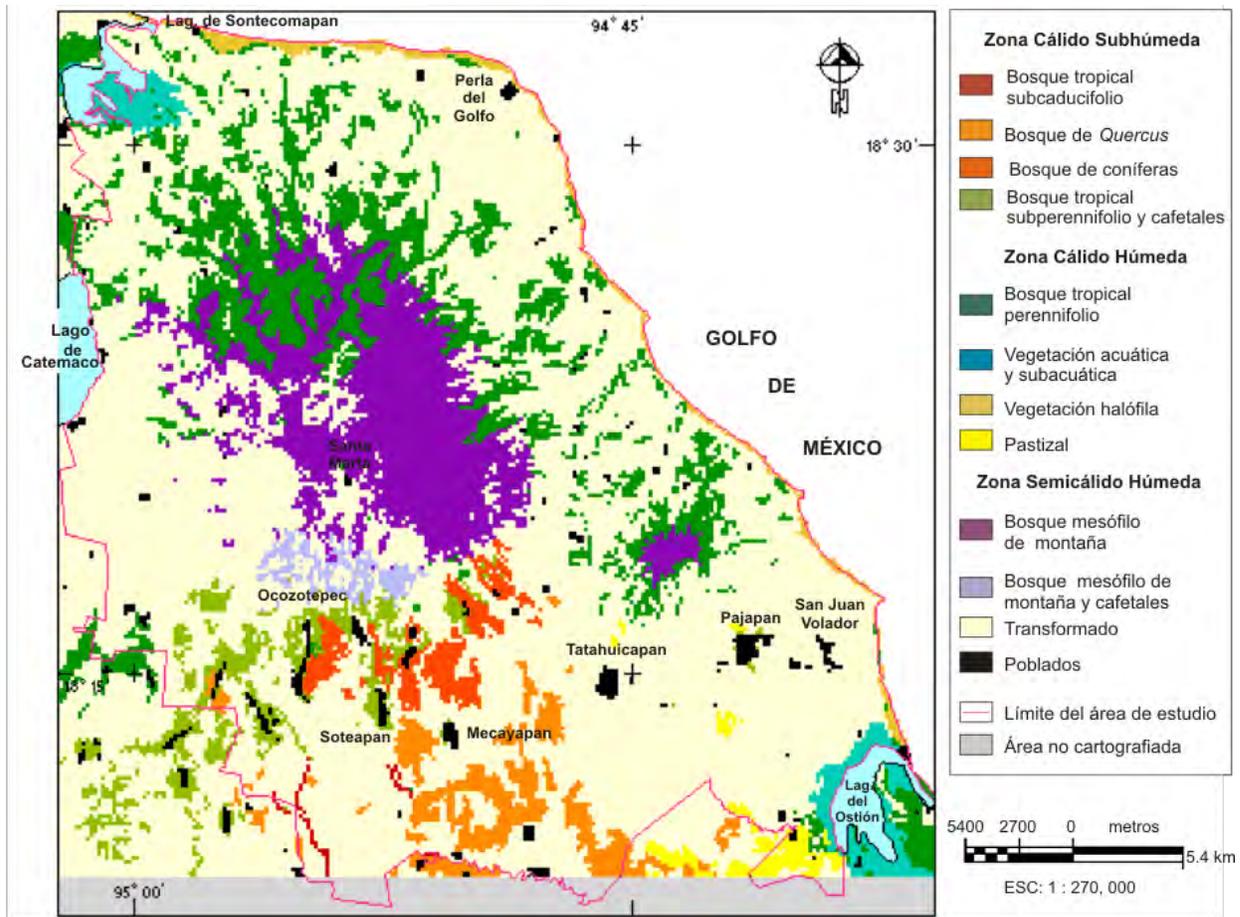


Fig. 13: Tipos de Vegetación de la Sierra de Santa Marta en 1991, de acuerdo al sistema de clasificación de Rzedowski (1978)

Fig. 1. Tipos de vegetación de la Sierra de Santa Marta, Veracruz en 1991, de acuerdo a la clasificación de Rzedowsky (1978), tomado de Ramírez (1999).

En tabla 1 tomada de Ramírez (1999) se presenta una comparación de la clasificación de la vegetación de la Región de Los Tuxtlas realizada por diversos autores, con el fin de aclarar confusiones al respecto y tener presentes las equivalencias de las distintas nomenclaturas.

**Tabla 1. Comparación de los sistemas de clasificación de la vegetación de la Región de Los Tuxtlas, Veracruz (Tomada de Ramírez, 1999)**

Fernando Ramírez (1999)	Miranda y Hernández-X., 1963	Andrle, 1964	Ross, 1967 (Beard, 1955)	Holdridge, 1967	Sousa, 1968	Rzedowski, 1978
Selva mediana subcaducifolia	Selva mediana subcaducifolia		Semi-evergreen seasonal forest	Bosque seco Tropical, transición a bosque húmedo Subtropical	Selva mediana subcaducifolia	Bosque tropical subcaducifolio
Encinar cálido	Encinar	Oak Forest	Deciduos woodland ( <i>Quercus</i> asociación.)	Bosque húmedo Subtropical	Encinar cálido	Bosque de <i>Quercus</i>
Sabana con Nanche	Sabana con nanche	Savanna	Savanna ( <i>Curatella-Byrsonima</i> asociación)		Sabana	Bosque de <i>Byrsonima-Curatella</i>
Pinar tropical	Pinar	Pine-oak Forest	<i>Pinus-Quercus</i> asociación		Pinar	Bosque de coníferas
Selva mediana subperennifolia	Selva mediana subperennifolia	Rain Forest	Evergreen seasonal forest	Bosque húmedo Subtropical	Selva alta perennifolia	Bosque tropical perennifolio
Selva alta perennifolia con <i>Terminalia-Dialium</i>	Selva alta perennifolia		Rain forest ( <i>Terminalia</i> asociación)	Bosque muy húmedo Subtropical (cálido)		
Selva alta perennifolia con <i>Vochysia-Bursera</i>						
Selva alta-mediana perennifolia con <i>Brosimum-Rheedia</i>			Lower montane rain forest			
Selva alta-mediana perennifolia con <i>Pseudolmedia-Nectandra</i>				Bosque muy húmedo Subtropical transición a bosque muy húmedo Tropical		
Vegetación Costera	Vegetación costera	Littoral	Littoral woodland or dry evergreen woodland ( <i>Ficus-Hibiscus</i> asociación)	Bosque muy húmedo Subtropical (cálido)	Vegetación costera	Vegetación halófila
Vegetación riparia y de esteros	Vegetación riparia		Swamp forest		Vegetación riparia y de esteros	Vegetación Subacuática

**Tabla 1. continua**

Fernando Ramírez (1999)	Miranda y Hernández-X., 1963	Andrle, 1964	Ross, 1967 (Beard, 1955)	Holdridge, 1967	Sousa, 1968	Rzedowski, 1978
Manglar	Manglar	Mangrove	Mangrove woodland	Bosque muy húmedo Subtropical (cálido)	Manglar	Vegetación acuática y subacuática
Apompal con <i>Pachira-Ficus</i>	Selva mediana perennifolia con <i>Pachira</i>		Swamp forest ( <i>Pachira-Ficus</i> asoci.)		Vegetación riparia y de esteros	
Mucalera: Asociación. De <i>Dalbergia</i>	-		Herbaceous swamp			
Popal: Asoc. <i>Thalia-Typha</i>	Popal					
Camalotal: Asoc. De <i>Paspalum-Mimosa</i>	-					
Sabana con jícara	Sabana con jícara		Savanna			
Selva mediana perennifolia de montaña con <i>Quercus skinerii</i>	Selva mediana perennifolia	Cloud Forest	Montane rain forest or Cloud Forest	Bosque pluvial Subtropical	Encinar semicálido <i>Quercus skinerii</i> ,	Bosque mesófilo de montaña
Selva mediana perennifolia de montaña con <i>Liquidambar-Quercus</i>	Bosque caducifolio	Gum-oak Forest	Liquidambar-Quercus asoci., 800-1000 m	Bosque muy húmedo Subtropical (semicálido)	Bosque caducifolio	
Selva mediana perennifolia de montaña con <i>Quercus-Oreomunnea-Sloanea</i>	Selva mediana perennifolia	Cloud Forest	Montane rain forest or Cloud Forest (Quercus-Oreomunnea)	Bosque muy húmedo Montano Bajo Subtropical	Encinar Semicálido	
Selva mediana perennifolia de montaña con <i>Podocarpus-Alfaroa</i>			Montane thicket (Podocarpus asoci.)	Bosque pluvial Montano Bajo Subtropical	Bosque caducifolio previo a la selva baja perennifolia	
Selva baja perennifolia y matorral perennifolio	Selva baja perennifolia y matorral perennifolio		Elfin woodland (Quercus-Clusia-Podocarpus),		Selva baja perennifolia	

#### **4. Evaluación de los cambios en el uso del suelo y vegetación de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas realizados por CONANP 2003-2007**

A partir de 1995, la combinación de varios elementos y factores (crisis de la ganadería, retiro de las funciones del Estado, reducción del gasto social, desaparición de las políticas de apoyo al campo, emigración y otros), contribuyeron a disminuir las tendencias de uso de los recursos naturales en la región de Los Tuxtlas. Con el establecimiento de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas en 1998, se inició un proceso de recuperación natural a través de la realización de una serie de acciones y proyectos ambientales que han frenado y revertido dichas tendencias, sin cuantificar a detalle la magnitud de este proceso de recuperación.

A partir del año 2000, la Subdirección encargada de la Coordinación de Geomática de la CONANP, ha desarrollado varios trabajos en la obtención de capas temáticas de cubierta vegetal y uso de suelo, esto para adquirir datos de dinámica de cambio y calcular la tasa de transformación en las Áreas Naturales Protegidas (ANP) federales a partir del análisis de imágenes de satélite de diferentes épocas y sensores. 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 adquiridas por el gobierno federal (INEGI, SEMARNAT y SAGARPA).

Posteriormente, la CONANP continuó a partir del 2004 con los trabajos de evaluación del uso del suelo y vegetación dirigidos a estimar la tasa de transformación del hábitat en colaboración con el proyecto de Manejo Integrado de Ecosistemas (MIE) analizando el Uso del Suelo y Vegetación en Tres Ecoregiones Prioritarias; Los Tuxtlas, la Chinantla y la Montaña de Guerrero, en su fase inicial a través del uso de las imágenes de satélite Landsat ETM y a partir del 2004 con el empleo de las imágenes SPOT.

En el marco del Proyecto Manejo Integrado de Ecosistemas a partir del año 2003 se trabajó en el análisis de los cambios en el Uso del suelo y la Vegetación en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, mediante la comparación de imágenes de

satélite de las últimas tres décadas. Este análisis se realizó en tres etapas: la primera, comparando los cambios de uso del suelo en la décadas de los años ochenta, noventa y hasta 2003 (SEMARNAT-CONANP, 2003); la segunda etapa consideró los cambios en el uso del suelo en el periodo 2004-2005 (B. Velasco Tapia y H. M: Cruz Rojas, 2005 y Velasco Tapia, 2007). La tercera etapa de estos estudios comprendió el análisis de las imágenes de satélite del periodo 2006-2007 (Velasco Tapia, 2009). En estas distintas etapas de análisis se identificaron los distintos tipos de cobertura vegetal, en cantidad y calidad y se determinó la tasa de transformación para estos periodos.

Blanca Velasco Tapia (2009) clasifica las imágenes SPOT de los años 2006 y 2007 de la región de Los Tuxtlas y reporta 16 categorías de uso del suelo y vegetación, las cuales agrupa en un conjunto Forestal con 12 categorías y el conjunto No Forestal con 3 categorías, además de otras coberturas como los cuerpos de agua.

En la tabla 2 se puede observar que el tipo de vegetación dominante que encontró en la Ecorregión en 2007 es la Selva alta y mediana perennifolia primaria y secundaria cuya cobertura significó el 40% de la superficie de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas. En segundo término se ubicaron los pastizales inducidos con una cobertura del 38.5% de la superficie de la reserva (59,632 Ha).

En 2007 el conjunto forestal cubría el 46.38% de la superficie total de la reserva (71,924 Ha), en tanto que el conjunto de categorías No Forestales (pastizales y zona agrícola) ocupaban una superficie de 81,779 Ha, que en términos porcentuales equivalen a más de la mitad de la superficie total de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (52.74%), ampliamente distribuidas en la Zona de amortiguamiento como se puede observar en la Fig. 2.

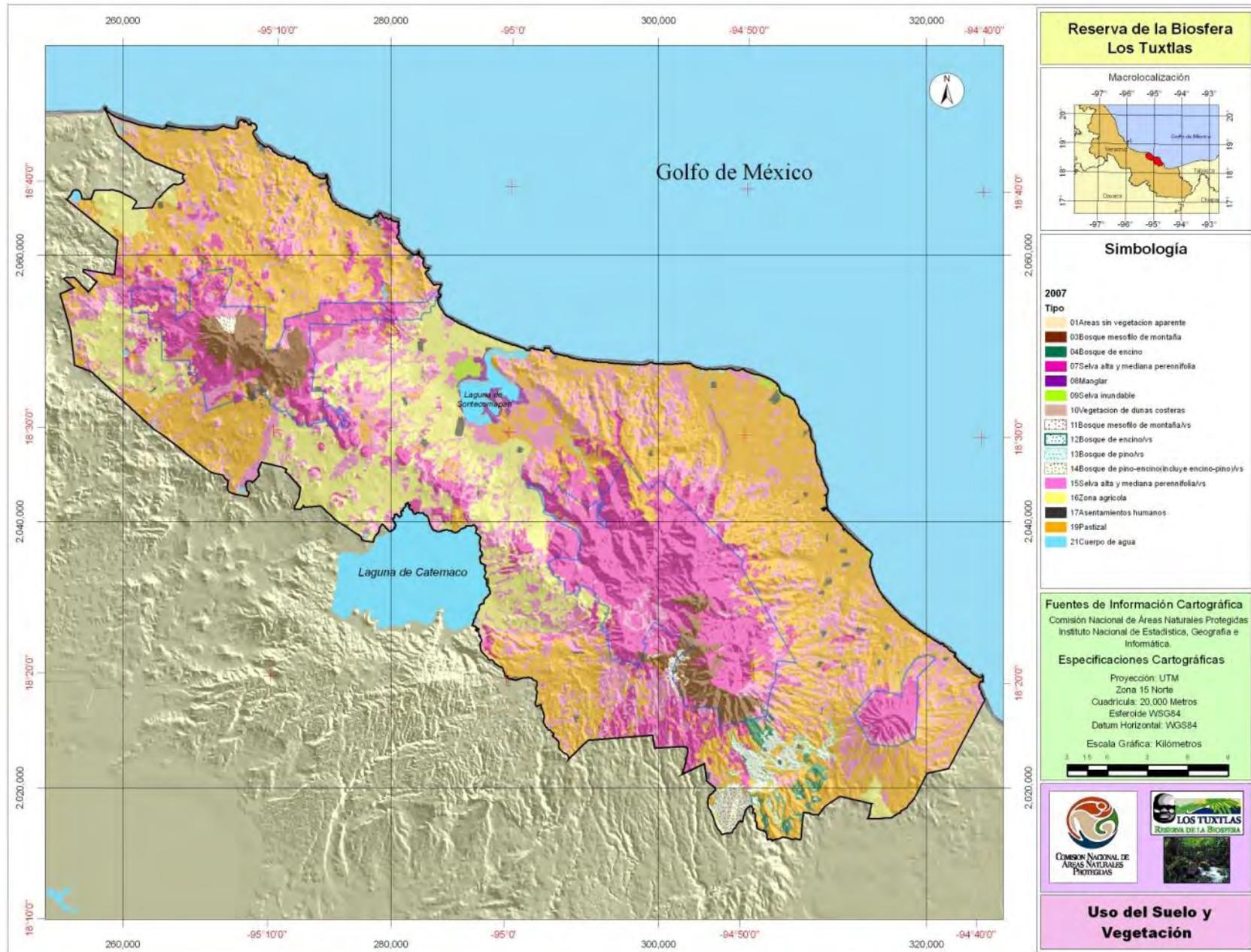


Fig. 2. Distribución de la Vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas en el año 2007 (Velasco Tapia, 2009).

<b>Tabla 2. USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA LOS TUXTLAS EN 2007 (Velasco, 2009)</b>		
<b>TIPO DE VEGETACIÓN</b>	<b>SUPERFICIE (HA)</b>	<b>%</b>
<b>FORESTAL</b>		
Áreas sin vegetación aparente	108	0.07
Selva alta y mediana perennifolia	31,508	20.32
Selva alta y mediana perennifolia/ vegetación secundaria	30,518	19.68
Bosque Mesófilo de Montaña	5,347	3.45
Vegetación Secundaria de Bosque Mesófilo de Montaña	429	0.28
Bosque pino y vegetación secundaria	1,384	0.89
Bosque de pino-encino / vegetación secundaria	790	0.51
Bosque de encino	444	0.29
Bosque de encino / vegetación secundaria	243	0.16
Manglar	629	0.41
Vegetación de zonas inundables	371	0.34
Vegetación de dunas costeras	151	0.1
<b>Subtotal</b>	<b>71,922</b>	<b>46.38</b>
<b>NO FORESTAL</b>		
Asentamientos humanos	923	0.6
Pastizal	59,633	38.46
Zonas agrícola	21,223	13.69
<b>Subtotal</b>	<b>81,779</b>	<b>52.74</b>
<b>OTROS</b>		
Cuerpos de agua	1,364	0.88
<b>Subtotal</b>	<b>1,364</b>	<b>0.88</b>
<b>TOTAL</b>	<b>155,065</b>	<b>100</b>

#### 4.1. Tasa de Transformación 2006-2007 en Los Tuxtlas

En la región Los Tuxtlas, el conjunto de vegetación forestal cubría 72,868 Ha en el año 2000 y se redujo a 71,924 Ha para el 2007, sufriendo una pérdida de 944 Ha en siete años (Tabla 3). Esta superficie deforestada o transformada al uso agropecuario corresponde al 0.61% de la superficie total de la reserva de la biosfera Los Tuxtlas.

Los datos acumulados del proceso de transformación en Los Tuxtlas muestran que la tasa de transformación se mantuvo continua hasta el año de 1995, año hasta el que se observó que la superficie Forestal ocupaba la misma superficie que la vegetación No Forestal. Posteriormente, a partir de 1996 se observa una tendencia a la disminución de la tasa de transformación en la región, llegando a estabilizarse a partir del año 2000, con ligeras variaciones entre un periodo y otro por las afectaciones a la vegetación debido a las quemadas agrícolas y a los incendios forestales recurrentes en la época seca.

**Tabla 3. Superficie forestal y no forestal en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas durante el periodo 1980 – 2007**

Año	Forestal (Ha)	No Forestal (Ha)
1980	101,470	52,232
1988	92,220	61,483
1996	75,415	78,287
2000	72,868	80,834
2003	72,190	81,513
2004	71,700	82,002
2005	70,311	83,343
2006	71,063	82,639
2007	71,924	81,779



Fig. 3. Proceso de transformación del hábitat en la Reserva de la Biosferas Los Tuxtlas durante el periodo 1980 – 2007 (Velasco Tapia, 2009)

#### 4.2 Tasa de transformación del hábitat en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas durante el periodo 1980-2007

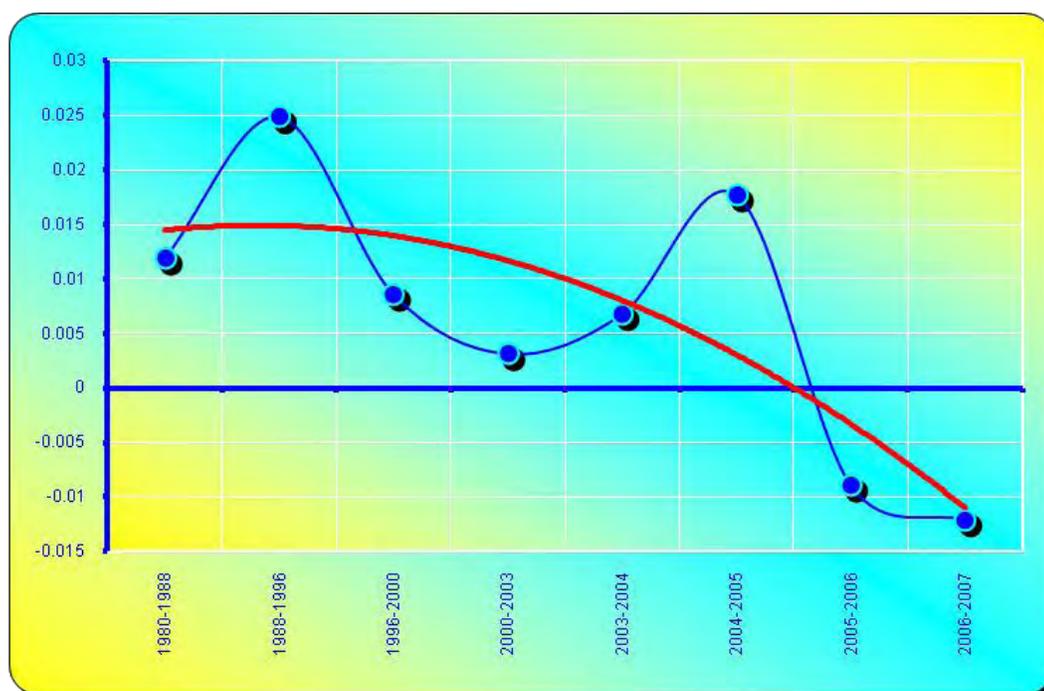
Durante el periodo 1980- 2007 se transformaron 29,546 Ha de hábitat natural en la Región de Los Tuxtlas. Este proceso de deforestación en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas presenta una tendencia a disminuir hacia el año 2007. Se observan dos periodos pico, en los cuales se incrementa la tasa de transformación: 1988-1996 y 2004-2005. De acuerdo a Velasco (2009), estos picos de pérdida de vegetación pueden deberse a incendios forestales importantes y a la intensa actividad de quemas agrícolas que se presentaron en esos años.

El resultado del análisis del proceso de transformación del hábitat en Los Tuxtlas durante 27 años (1980-2007), arroja una tasa promedio anual de cambio de 1.27%. Este resultado implica que Los Tuxtlas presenta la tasa de transformación más alta de las tres Eco-regiones trabajadas por el Proyecto MIE -CONANP.

En Los Tuxtlas, el análisis de la transformación del hábitat apoyado por el Proyecto MIE durante el periodo 2000-2007, permite concluir que la deforestación y el proceso de transformación en esta ANP tiende a disminuir e, inclusive, se deduce que ha ocurrido un proceso de recuperación y revegetación en algunas áreas de la zona de amortiguamiento de la reserva en los últimos años 2006-2007 (valores inferiores a cero). Estas tendencias se muestran en la tabla 4 y en el figura 4 (Velasco, 2009).

**Tabla 4. Superficie forestal y no forestal en la Reserva de la Biosferas Los Tuxtlas durante el periodo 1980 – 2007**

Periodo	s1	s2	Cambio (Ha)	Años	Tasa de cambio	Tasa de cambio anual (%)
1980-1988	101,470	92,220	9,251	8	0.011878	1.19
1988-1996	92,220	75,415	16,804	8	0.024832	2.48
1996-2000	75,415	72,868	2,547	4	0.008553	0.86
2000-2003	72,868	72,190	678	3	0.003113	0.31
2003-2004	72,190	71,700	489	1	0.006780	0.68
2004-2005	71,700	70,434	1,266	1	0.017658	1.77
2005-2006	70,434	71,063	-629	1	-0.008933	-0.89
2006-2007	71,063	71,924	-861	1	-0.012111	-1.21
1980-2007	101,470	71,924	29,546	27	0.012666	1.27



**Fig. 4. Tasas de cambio en Los Tuxtlas, durante el periodo 1980 – 2007 (Velasco Tapia, 2009)**

La Oficina Regional de la CONANP Planicie Costera y Golfo de México ha contratado al Proyecto Sierra de Santa Marta, A. C. para actualizar la cartografía del uso del suelo y la vegetación de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas procesando y clasificando imágenes de satélite de 2011 con los siguientes objetivos:

## **II. OBJETIVO GENERAL**

- ◆ Actualización de cartografía de Uso de Suelo y Vegetación para el cálculo de la Tasa de Transformación del Hábitat de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas.

### **1. OBJETIVOS PARTICULARES:**

- ◆ Generar la cartografía de Uso de Suelo y Vegetación de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas con fecha más reciente (2010-2011), utilizando imágenes de satélite del sensor SPOT.
- ◆ Cuantificar la superficie transformada y la tasa de cambio en la cobertura de vegetación ocurridos en la el territorio de la Reserva de la Biosfera después de 2007.
- ◆ Obtener los mapas de cambio y la matriz de transformación actualizada de Uso de Suelo y Vegetación de la RB Los Tuxtlas, mediante el cruce de mapas de fechas históricas y recientes.
- ◆ Calcular la tasa de transformación y gráficos de tendencia de cambio del uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas.
- ◆ Identificar las áreas críticas y de mayor transformación dentro de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas para la planificación de las acciones de conservación y manejo del área natural protegida.

### III. AREA DE ESTUDIO

El presente estudio de se llevara a cabo en una extensión de 170,000 hectáreas de la Eco-región de Los Tuxtlas, Veracruz, la cual comprende la totalidad del territorio decretado como Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (155,122.46 hectáreas) y una zona buffer de 5 kilómetros alrededor de la poligonal que delimita la zona de amortiguamiento de la reserva. Esta superficie comprende los dos macizos volcánicos que conforman la región natural de Los Tuxtlas: el macizo sureste, conocido como Sierra de Santa Marta o de Soteapan y, el macizo noroeste conocido como Sierra de Los Tuxtlas.

La Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas fue decretada el 23 de noviembre de 1998, abarcando una extensión de 155,122 hectáreas que se extienden por los municipios de Ángel R. Cabada, Santiago Tuxtla, San Andrés Tuxtla, Catemaco, Hueyapan de Ocampo, Soteapan, Mecayapan, Pajapan y Tatahuicapan de Juárez. La Reserva está constituida por tres zonas núcleo: San Martín Tuxtla, Santa Marta y San Martín Pajapan, que en conjunto suman 29,720 hectáreas. De las tres zonas núcleo, la de Santa Marta es la más extensa, con 18,768 ha (Fig. 5)

Las restantes 125,402 hectáreas de la Reserva corresponden a una gran zona de amortiguamiento, la cual representa el 80% de la superficie total de la Reserva. Se estima que sólo el 22% de la superficie decretada como reserva conserva selvas, bosques y manglares primarios.

En este estudio se analiza el proceso de transformación en el territorio de la reserva en los cuatro años recientes (2007-2011), generando mapas actuales de vegetación y uso del suelo a escala cartográfica 1:50,000, así como un mapa de áreas críticas a atender e incluir en la planeación del desarrollo y conservación de los recursos naturales de la reserva en el corto y mediano plazos.

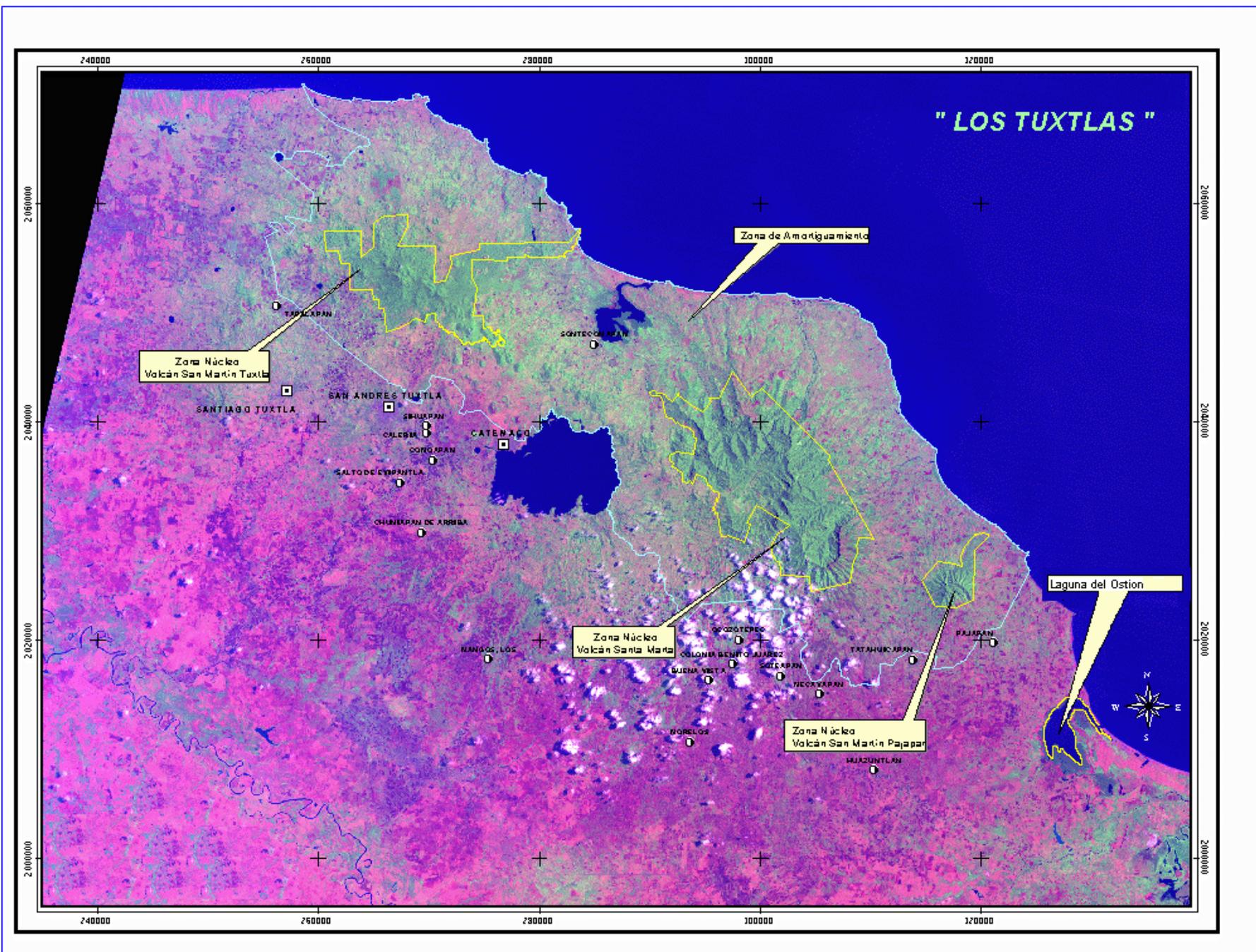


Fig. 5. Distribución de la zonificación de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas sobre imagen de satélite de 2007

#### **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

En términos generales se ha aplicado la metodología descrita en el “Protocolo para la Evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México” elaborado por técnicos de la CONANP. Se utilizó este método para que los resultados obtenidos en este estudio puedan ser comparados con los obtenidos en otras Áreas Naturales Protegidas de México. También fue indispensable seguir esta metodología para comparar este estudio con los estudios elaborados para la región de Los Tuxtlas por técnicos de CONANP con financiamiento del Proyecto MIE (Velasco y Cruz, 2005; Velasco 2007 y 2009). Las imágenes se procesaron con el programa ERDAS 9.1, ARCGIS 9.2 y ARCSOFT 9.2.

##### **1. Búsqueda e integración de insumos: Imágenes SPOT 2011**

Las imágenes de satélite SPOT fueron proporcionadas por la oficina regional “Planicie Costera y Golfo de México” de la CONANP, quienes a su vez las solicitaron a la Subdirección de Análisis de Información Espacial de la Dirección de Evaluación y Seguimiento de la misma CONANP.

Las imágenes de satélite del sensor de SPOT tienen una resolución espacial de 2.5 metros en la banda blanco y negro (pancromática) y 4 bandas espectrales (multiespectral) con resolución de 10 metros. En este caso y por la superficie y longitud del área de estudio, se proporcionaron dos imágenes para cubrir casi toda el área de la reserva, las cuales comprenden, por un lado, el macizo volcánico sureste, conocido como Sierra de Santa Marta o de Sotepan y, el macizo volcánico noroeste conocido como Sierra de Los Tuxtlas.

Se trabajó con cinco imágenes en total. Por un lado, para clasificar el área del macizo noroeste se utilizaron las imágenes multiespectral y pancromática SPOT 5 tomadas el 24 de febrero de 2011. Por otro lado, las imágenes utilizadas para clasificar la vegetación del macizo sureste, la sierra de Santa Marta, datan del 09 de febrero de 2011 (multiespectral) y del 24 de mayo de 2011 (multiespectral y pancromática). La zona sur de la reserva se tuvo que trabajar con dos imágenes para

incluir en el análisis las áreas con nubosidad que presentan ambas imágenes. Con las imágenes del 24 de mayo se trabajó la zona norte de la sierra de Santa Marta (Colonia La Perla del Golfo) y con la imagen multiespectral del 09 de febrero del 2011 se trabajó la mayor parte de la zona sur de la reserva, la cual comprenden las áreas más complejas en cuanto a uso del suelo y vegetación del territorio decretado como área natural protegida (Tabla 5 y Fig. 6, 7 y 8)

**Tabla 5. Imágenes de satélite SPOT 5 con las que se elaboró la cartografía 2011 del Uso del Suelo y Vegetación de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, Veracruz.**

TIPO Y ZONA DE LA IMAGEN	IMAGEN	K/J	SATÉLITE	FECHA Y HORA DE TOMA	RESOLUCIÓN
Pancromática (Zona Norte)	E55963131102242T1A00007	596-313	SPOT 5	24/02/11 17:10:18	2.5 m
Pancromática (Zona Sur)	E55973131105242T1A03004	597-313	SPOT 5	24/05/11 16:57:52	2.5 m
Multiespectral (Zona Norte)	E55963131102242J1A00007	596-313	SPOT 5	24/02/11 17:10:20	10 m
Multiespectral (Zona Sur)	E55973131105242J1A02007	597-313	SPOT 5	24/05/11 16:57:54	10 m
Multiespectral (Zona Sur)	E55973131102091J1A05001	597-313	SPOT 5	09 /02/11 16:57:52	10 m

## 2. Evaluación de la calidad de las imágenes SPOT

Se realizó una revisión de la calidad de las imágenes de satélite SPOT para evaluar el tipo de resultados que se podrían obtener con las imágenes disponibles ortorectificadas. Por un lado, se encontró que la imagen de la zona noroeste, correspondiente al volcán San Martín Tuxtla, es una imagen de alta calidad con excelente resolución y nitidez al desplegar las bandas de vegetación 4,1,y 2 (Fig. 6).

En cambio, la imagen de la zona sureste, correspondiente a la sierra de Santa Marta (Fig. 7), es de menor calidad en cuanto a la nitidez de la vegetación, pues se encubren rasgos geográficos como lagunas y mosaicos de vegetación secundaria

debido a la diferencia radiométrica de los patrones de reflectancia en esta imagen. Además esta escena presenta nubosidad en aproximadamente 8 mil hectáreas sobre los ejidos del municipio de Soteapan, en la zona sur de la reserva. La superficie con nubosidad equivale en términos porcentuales al 3% del área total de la Reserva, lo cual podría considerarse como un margen de error aceptable para toda la reserva (pero no aceptable considerando solamente la imagen del macizo sureste que se trabaja por separado).

El problema fundamental con esta imagen radica en que la nubosidad se concentra en la zona meridional que comprende ejidos del municipio de Soteapan, en los cuáles se han impulsado diversos proyectos enfocados a la conservación, restauración y protección, cuyo impacto en la conservación del hábitat es importante cuantificar y documentar.

Por lo anterior, se solicitó a CONANP y se nos proporcionaron dos imágenes de satélite multiespectrales de la zona sur de la reserva: una imagen multiespectral del 09 de febrero de 2011 con 7% de nubosidad y otra multiespectral del 07 de abril de 2011, también con 7% de nubosidad, pero de menor calidad (Fig. 8)

Se selecciono la imagen SPOT 5 de la zona sur del 09 de febrero de 2011, tanto por la mejor calidad de la imagen y por la fecha de toma de la imagen por el satélite, la cual coincide con la fecha de toma de la imagen de la zona norte (24 de febrero de 2011).

### **3. Ortofotos 2008 de INEGI**

En la zona sur las imágenes de satélite disponibles no cubrieron dos fragmentos de aproximadamente 88 hectáreas de la poligonal que delimita la Zona de Amortiguamiento Sur de la Reserva (Fig. 8). Por ello, la información del uso del suelo y vegetación se trabajó utilizando las ortofotos E15A84B1 y E15A84B2 tomadas en 2008 a escala 1:10,000 por INEGI.

#### **4. Rectificación de imágenes**

Las imágenes adquiridas a través de sensores remotos como lo son las imágenes de satélite, presentan alteraciones geométricas debido a diferentes factores. La corrección de estas alteraciones se realiza a través del proceso conocido como Rectificación de Imágenes.

Para el proceso de rectificación de las imágenes SPOT se trabajó en el programa LPS 8.7 (LEIKA) y el programa ERDAS 9.1. Para la rectificación de las imágenes se utilizó de referencia una imagen de la región ortorectificada LANDSAT del sensor ETM+ de 30 metros de resolución y con bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 (ETM+ WRS-2, Path 023, Row 047 2006-04-18 USGS Ortho, GLS2005 Mexico). Esta imagen fue obtenida a través de la página web: <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>) del Global Land Cover Facility Earth Science Data Interface. Se realizó la unión de las bandas 1, 2, 3, 4, 5, y 7 y se realizó un corte del área de estudio de esta imagen.

Para la ortorectificación de las imágenes también se utilizó un modelo digital de elevación (DEM), con el fin de eliminar con precisión las distorsiones de la imagen. En particular se trabajó con el modelo digital de elevación producido por INEGI y denominado "Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM)". Este modelo comprende e integra los modelos digitales de elevación (MDE) del territorio nacional basados en las cartas topográficas E15A63, E15A64, E15A73 y E15A74, escala 1: 50,000 producidas por el INEGI. Este DEM fue obtenido de la página web de INEGI accediendo al Sistema de Descarga del Continuo de Elevaciones Mexicano cuya dirección electrónica es: <http://mapserver.inegi.gob.mx/DescargaMDEWeb>. Se aplicó una proyección al modelo de elevación digital ya que originalmente viene en sistema de coordenadas geográficas, se utilizaron los siguientes parámetros Proyección: UTM; Zona: 15 Norte; Elipsoide: WGS 84; Datum: WGS 84.

Para la rectificación geométrica de las imágenes, se utilizó la información de las efemérides del Modelo Digital de Elevación (MDE) escala 1:50,000 del INEGI. Éste incluye la posición del satélite al momento de capturar las escenas SPOT y, permite

realizar el proceso de ortorectificación de una manera mas sencilla y rápida obteniendo un mejor resultado. 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.

Al realizar el proceso de rectificación de las dos escenas, la multiespectral de 10 m y la pancromática de 2.5 m de resolución, se obtiene un producto más fino y con una excelente calidad, una imagen a color con una resolución de 2.5 metros, lo que permite hacer una buena clasificación (ver la Fig. 6)

## **5. Ortorectificación de imágenes SPOT**

El proceso de ortorectificación fue aplicado a las dos imágenes pancromáticas y multiespectrales. Para corregir las distorsiones presentes en la imagen debido al desplazamiento por relieve y curvatura de la Tierra se aplicó el modelo de elevación digital el cual nos da un control vertical a través de los puntos de elevaciones, el control horizontal lo llevamos a cabo a través de puntos de control establecidos en la imagen Landsat, la cual está georeferenciada.

Para cada una de las 4 imágenes se establecieron entre 20 y 25 puntos, los cuáles fueron distribuidos de la siguiente manera: Uno en cada esquina de la imagen, uno al centro y los demás distribuidos en referencias conocidas tales como bifurcaciones de caminos y ríos, rasgos físicos como cuerpos de agua, cerros, accidentes geográficos, poblados etc.

El error mínimo logrado fue de 0.0001 en  $x$ , y de 0.001 en  $y$ , en la zona noroeste, para la zona sureste el error máximo fue de  $x$ : 0.002 y de  $y$  0.002 en ambas imágenes. La ortorectificación se aplicó a cada una de las imágenes (pancromática y multiespectral) cubriendo cada imagen por separado, es decir, no se realizaron cortes ni se integró el mosaico, ya que es más conveniente ortorectificar las

imágenes completas para en caso de requerir información de alguna otra área, la imagen ya este corregida.

## **6. Generación de imágenes híbridas**

Se hizo una unión de la imagen pancromática con la multiespectral correspondiente para la zona norte y la zona sur. Se obtuvo como resultado dos imágenes híbridas con una mejor resolución que la observada en las imágenes multiespectrales (Ver Fig.6 y 7).

## **7. Cortes de las imágenes y formación de un mosaico**

Posteriormente se creó un buffer de 5 km. a la poligonal de la ANP y en base a esta nueva poligonal se aplicó un corte a cada una de las imágenes. Se realizó también un mosaico como prueba para verificar si existe algún desfase entre las imágenes de las dos escenas y para evaluar la necesidad de balancear ambas imágenes (Fig. 9).

La ejecución de las fases anteriormente descritas presupone que las imágenes deberían tener píxeles con valores proporcionales, de modo que sea posible elaborar un mosaico con una presentación adecuada. Sin embargo, al agrupar las dos escenas en un mosaico se obtuvieron resultados en los que es notoria la diferencia entre ambas imágenes. Atribuimos este efecto a la diferencia radiométrica de los patrones de reflectancia para imágenes adquiridas en distintas fechas (febrero y mayo de 2011).

El mapa del mosaico de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas muestra algunas de las discrepancias resultantes al generar el mosaico. En ella se puede observar los límites entre las dos escenas, así como la porción de sobreposición entre ambas escenas, cuyas diferencias espectrales se manifiestan en las distintas tonalidades para categorías similares, cuyos valores digitales son notablemente mayores o menores con respecto a la escena adjunta. Por estas diferencias se decidió trabajar las imágenes por separado para no arrastrar los errores antes descritos.

## **8. Clasificación supervisada de las imágenes SPOT 5 de Los Tuxtlas**

Una vez rectificadas geométricamente las imágenes multiespectrales se realizó un falso color RGB con las bandas 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 se apoyo fundamentalmente con el despliegue de las bandas 4,1 y 2 de cada imagen, la conjunción de estas bandas muestran el color verdadero de la imagen (llamado verdéz por los técnicos en percepción remota), manifestándose un gran contraste cromático que presenta a la vegetación vigorosa al igual que en falso color entre las distintas bandas del espectro, y singularmente entre el visible (alta absorción, baja reflectividad) y el IRC (alta reflectividad). Cuanto mayor sea el contraste entre esas bandas, mayor será la intensidad del color en el caso de vegetación primaria, y más clara su discriminación frente a otros tipos de cubierta con menor densidad como ocurre con la vegetación secundaria.

Se establecieron los diferentes sitios de entrenamiento y selección de muestras a fin de generar las firmas espectrales, tomando como referencia la clasificación de las imágenes de 2007 realizada por Velasco (2009); y rectificando ésta tomando como referencia el estudio y mapas de vegetación de la Sierra de Santa Marta realizados por Ramírez (1999) y otros mapas de vegetación de la Región. Fue fundamental para la selección de las muestras el conocimiento de campo de los autores de este reporte para establecer muestras puras de las 20 categorías que se distinguieron.

Las firmas espectrales se generaron 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 fueron 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, fue 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.

Se obtuvo el porcentaje por clase de cada clasificación obtenida, con la finalidad de establecer por cada categoría 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), se calculó la probabilidad de que un píxel sea miembro de una categoría determinada (Chuvieco, 2000; Eastman, 1999). El cálculo se realiza para todas las categorías que intervienen en la clasificación, asignando el píxel a aquella que maximice la función de probabilidad.

## **9. Vectorización de la imagen con ArcInfo**

Una vez efectuada la clasificación automatizada apoyada con la interpretación visual en pantalla, las coberturas obtenidas en raster se convierten a vectores en formato de Arcinfo.

Los polígonos que no estaban acorde al límite del tipo de uso del suelo y vegetación fueron corregidos, a través de la interpretación visual y el conocimiento de campo (FAO, 2001).

#### **10. Eliminación de áreas mínimas cartografiables y suavización de arcos**

Se eliminaron todos aquellos polígonos menores a 1 hectárea o 10,000 metros cuadrados para una escala de 1:50,000. El tratamiento digital permitió realizar operaciones complejas o inaccesibles al análisis visual. Este 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.

#### **11. Reclasificación de polígonos y categorías**

La interpretación de la imagen puede realizarse con criterios visuales y digitales. 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 aunado a su conocimiento de campo de la región), 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 y las imágenes y ortofotos como referencia, 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.

Por lo anterior, la primera tarea fue 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 fue “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.

## 12. Asignación de categorías y edición de la cobertura en Arc Edit

Cuando las imágenes quedaron plenamente delimitadas y corregidas, fueron transferidas a ArcMap para elaborar los mapas correspondientes y poder calcular las superficies por categoría, pasando posteriormente a una nueva revisión y reclasificación si fuera necesario para corregir errores nos visibles durante el proceso de clasificación y reclasificación de polígonos.

## 13. Tasa de Transformación

Los tipos de vegetación y categorías de uso del suelo obtenidas, se agruparon en dos conjuntos: *Forestal* y *No forestal*. La primera contiene al conjunto de comunidades vegetales dominadas por especies arbóreas o arbustivas, que crecen y se desarrollan en forma natural formando bosques, selvas y vegetación de zonas inundables. El segundo conjunto, NO Forestal, agrupa los usos de suelo derivados de actividades humanas y/o desastres naturales. La tasa de transformación del hábitat de la reserva se calculó aplicando la ecuación formulada por la FAO (1996), expresada de la siguiente manera:

$$\delta = 1 - \left[ \frac{S_1 - S_2}{S_1} \right]^{1/n}$$

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

## V. RESULTADOS

### 1. Imágenes ortorectificadas híbridas y multiespectral

Se estudio en total 209,883.9 hectáreas, superficie que comprende la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas en su totalidad y un área buffer de cinco kilómetros alrededor del límite de la zona de amortiguamiento. Se entregan a CONANP las cinco imágenes rectificadas utilizadas en la clasificación del uso del suelo y la vegetación 2011 de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas. Cuatro imágenes ortorectificadas híbridas son el resultado de la unión de la imagen pancromática y la multiespectral de dos escenas que cubren la totalidad del territorio decretado como Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas: el macizo noroeste Los Tuxtlas que data del 24 de febrero de 2011 y la escena del macizo sureste de la Sierra de Santa Marta que data del 24 de mayo de 2011. El error mínimo logrado para la escena de la zona noroeste fue de 0.0001 en el eje de “x”, y de 0.001 en el eje de las “y”. Para la imagen de la zona sureste el error máximo alcanzado fue de 0.002 en el eje de las “x” y de 0.002 en el eje de las “y”

Por un lado, se encontró que la imagen de la zona noroeste, correspondiente al volcán San Martín Tuxtla, es una imagen de alta calidad con excelente resolución y nitidez al desplegar las bandas de vegetación 4,1,y 2 (Fig. 6). En cambio, la imagen híbrida de la zona sureste, correspondiente a la sierra de Santa Marta (Fig. 7), es de menor calidad en cuanto a la nitidez de la vegetación, pues se encubren rasgos geográficos como lagunas y mosaicos de vegetación secundaria debido a la diferencia radiométrica de los patrones de reflectancia en esta imagen. Esta escena presenta nubosidad en aproximadamente 8 mil hectáreas (7%) sobre los ejidos del municipio de Sotepan, en la zona sur de la reserva. Por lo anterior, de esta escena sólo se trabajo la porción norte correspondiente a la Colonia La Perla del Golfo y el ejido Arrecifes, para lo cual se hizo un recorte de esta porción de la imagen (Fig. 8)

La tercera imagen rectificadas que se entrega corresponde a la zona sur de la Reserva (Fig. 8). Se trata de una imagen SPOT 5 multiespectral (10 m de resolución)

que data del 09 de febrero de 2011 y tiene 7% de nubosidad sobre la Colonia las Perla del Golfo y la zona de Montepío. Esta es una escena de mayor calidad que la escena del 24 de mayo de 2011 y cuenta con la ventaja de que la fecha de toma de la imagen por el satélite, coincide con el mes de toma de la imagen de la zona norte utilizada en el proceso de clasificación (24 de febrero de 2011). Para esta imagen de la zona sureste el error máximo alcanzado en la rectificación fue de 0.002 en el eje de las “x” y de 0.002 en el eje de las “y”

## **2. Mosaicos de la región**

Se generó un mosaico de ambas escenas que comprende la superficie decretada como Reserva de la Biosfera creando un buffer de 5 km fuera de la poligonal de la ANP (Fig. 9). Sin embargo, al agrupar las dos escenas en un mosaico se obtuvieron resultados en los que es notoria la diferencia de calidad de ambas imágenes. Atribuimos este efecto a la diferencia radiométrica de los patrones de reflectancia para imágenes adquiridas en distintas fechas (febrero y mayo de 2011).

El mapa del mosaico de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas muestra los límites entre las dos escenas, así como la porción de sobreposición entre ambas escenas, cuyas diferencias espectrales se manifiestan en las distintas tonalidades para categorías similares. En este mosaico los valores digitales son notablemente mayores o menores con respecto a la escena adjunta.

Queda pendiente elaborar el mosaico final integrando las tres imágenes utilizadas en este estudio, es decir la imagen de la zona norte San Martín Tuxtla del 24 de febrero de 2011, la imagen de la zona sur Sierra de Santa Marta, del 09 de febrero de 2011 y la sección correspondiente a la Colonia La Perla del Golfo – Ejido Arrecifes de la imagen de la zona sur del 24 de mayo de 2011, para sustituir el área con nubosidad de la imagen multiespectral de la zona sur del 09 de febrero.

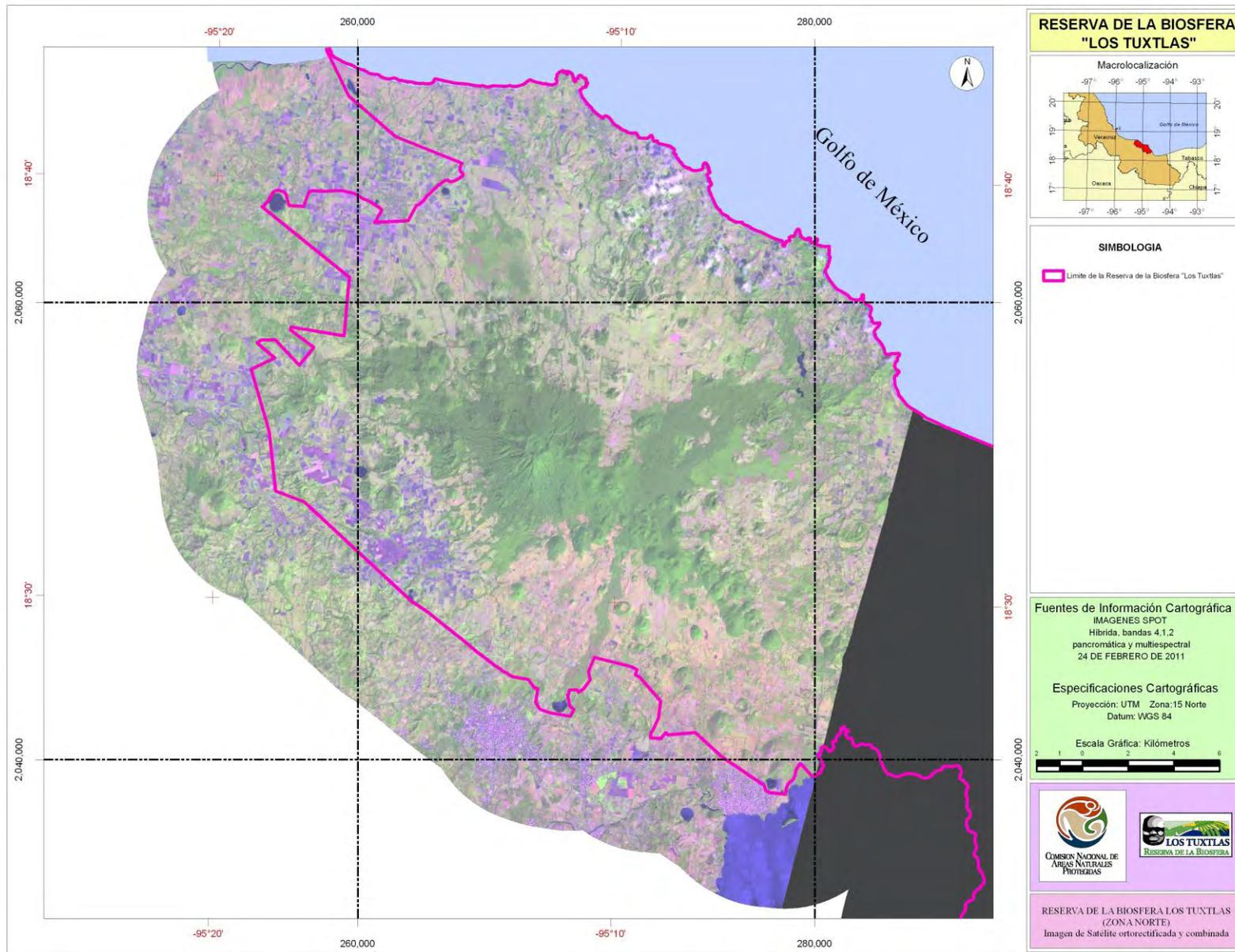


Fig. 6. Imagen SPOT híbrida con bandas 4, 1 y 2 del 24 de febrero de 2011, Zona Noroeste de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas.

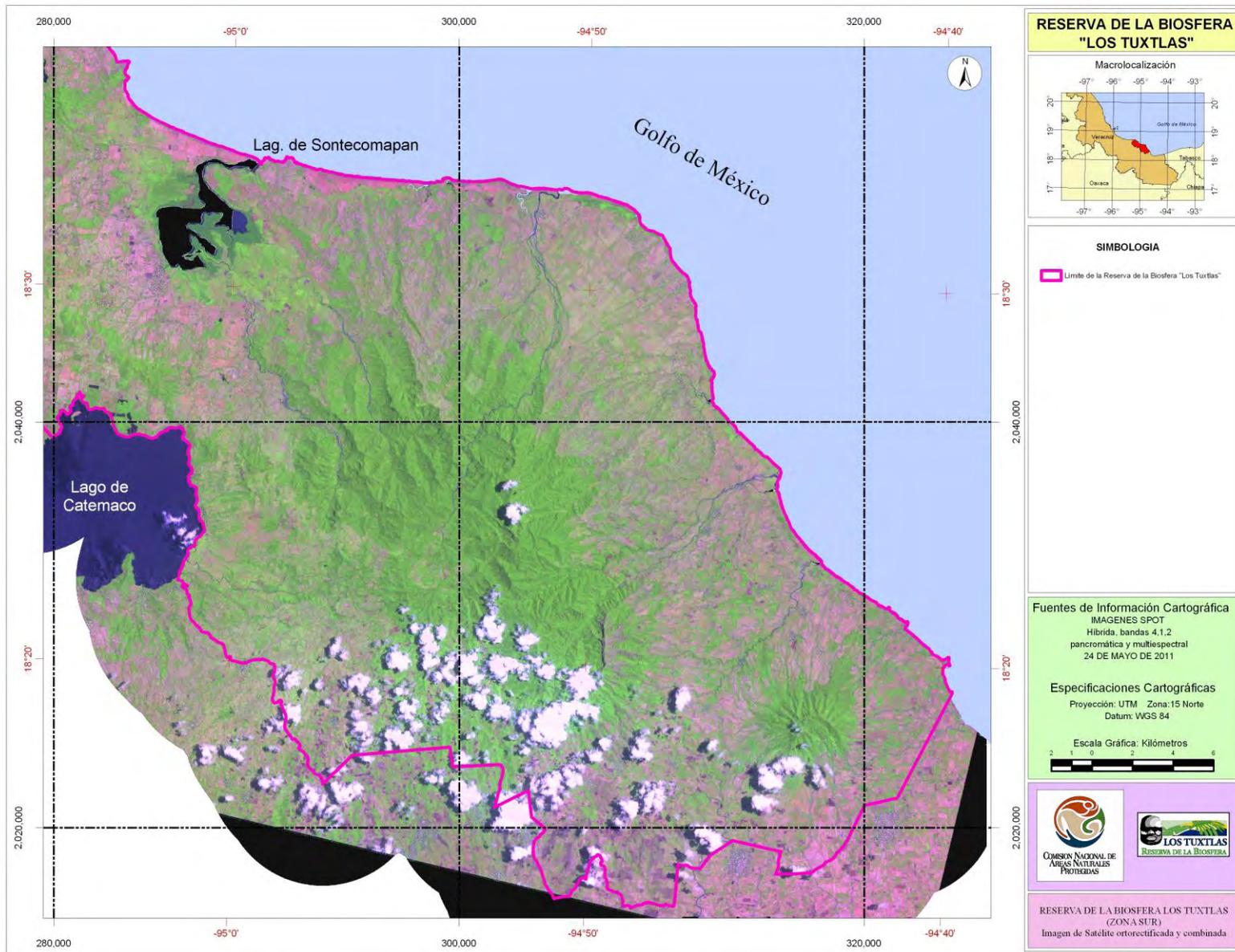


Fig. 7. Imagen SPOT híbrida con bandas 4, 1 y 2 del 24 de mayo de 2011, Zona Sureste de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas

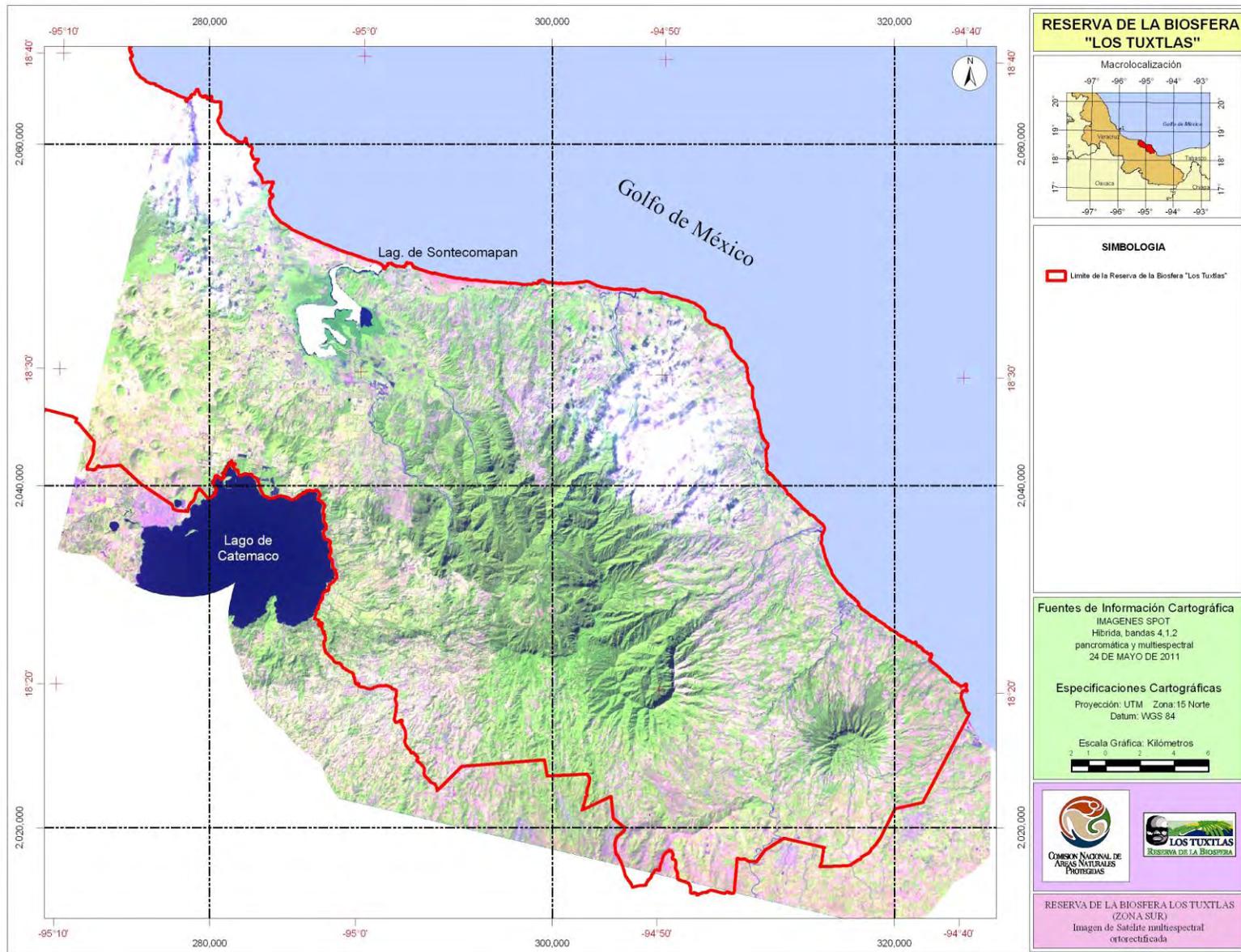


Fig. 8. Imagen SPOT multiespectral del 09 de febrero de 2011 con bandas 4,1 y 2, Zona Sureste de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas

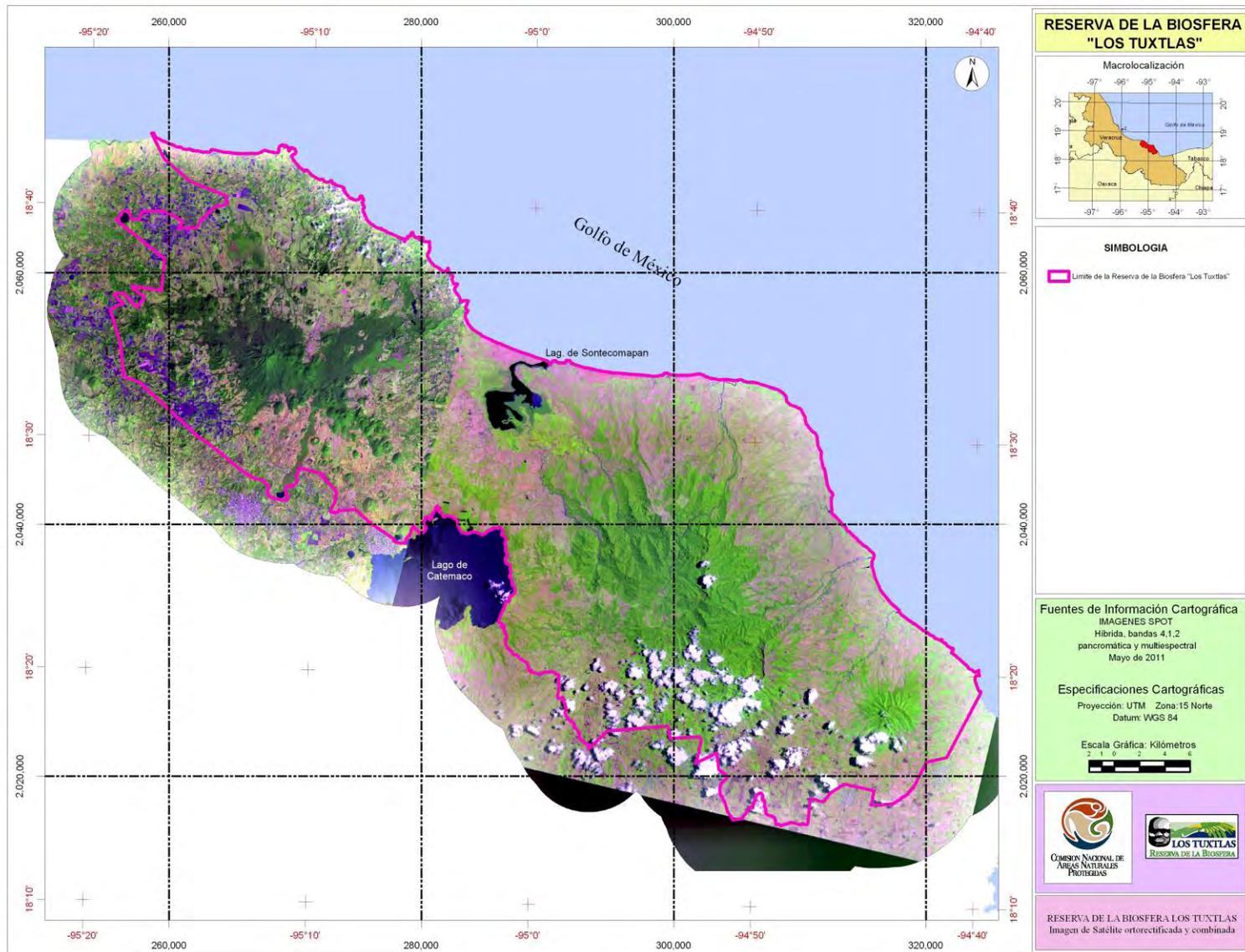


Fig. 9. Mosaico de imágenes SPOT híbridas del 24 de febrero de 2011 y 24 de mayo de 2011, bandas 4,1 y 2, Reserva Los Tuxtlas

### 3. Mapa de Uso del Suelo y Vegetación 2011 de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas

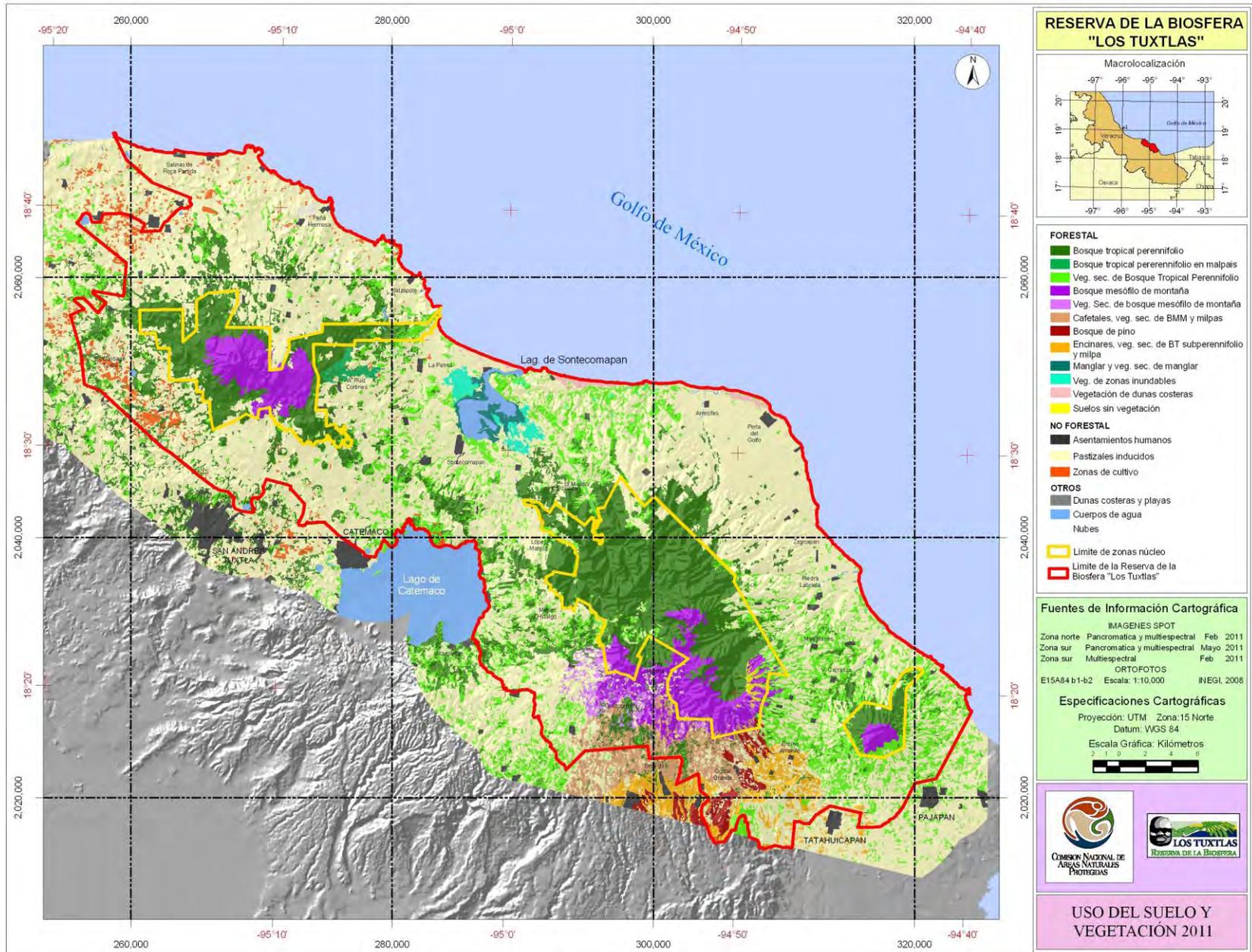
Se obtuvieron 19 categorías de uso del suelo y vegetación para la Región de Los Tuxtlas, agrupadas en tres conjuntos: 1) **Forestal** con 11 categorías que incluyen vegetación primaria y estados sucesionales de la misma o vegetación secundaria ; 2) **No Forestal** con 4 categorías; y, 3) **Otros tipos de cobertura**, con cuatro categorías. En 2011 el conjunto forestal cubre el 45.8% de la superficie total de la reserva (70,996 Ha), en tanto que el conjunto de categorías No Forestales (pastizales, zona agrícola, asentamientos humanos y suelos sin vegetación) ocupa la mayor superficie con 82,145.3 hectáreas, que en términos porcentuales equivalen a más de la mitad de la superficie total de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (52.97%), como se puede observar en la Fig. 10. Los otros tipos de cobertura comprenden cuerpos de agua, dunas costeras y playas, nubes y áreas sin cartografiar por desajustes de la poligonal de la reserva en el litoral del Golfo de México. Este último conjunto representa el 1.23% de la Reserva (Tabla 6 y Fig. 11)

**Fig. 10. Distribución de los conjuntos de uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas en 2011**



**Tabla 6. Uso del suelo y vegetación en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas 2011**

<b>CATEGORÍA DE VEGETACIÓN Y/O USO DEL SUELO</b>	<b>SUPERFICIE 2011 (HA)</b>	<b>PORCENTAJE %</b>
<b>FORESTAL</b>		
Bosque tropical perennifolio	34,896.58	22.50
Bosque tropical perennifolio en malpaís	404.72	0.26
Vegetación secundaria de Bosque tropical perennifolio	19,015.92	12.26
Bosque Mesófilo de Montaña	8,253.77	5.32
Vegetación Secundaria de Bosque Mesófilo de Montaña	1,252.80	0.80
Cafetales, vegetación secundaria de Bosque Mesófilo de Montaña y milpas	2,423.16	1.56
Bosque de Encino, vegetación secundaria de Bosque tropical subperennifolio y milpas	1,819.70	1.17
Bosque pino y vegetación secundaria	862.91	0.55
Vegetación de zonas inundables	913.63	0.59
Manglar y vegetación secundaria de manglar	651.72	0.42
Vegetación de dunas costeras	501.07	0.32
<b>Subtotal</b>	<b>70,995.98</b>	<b>45.79</b>
<b>NO FORESTAL</b>		
Pastizal	78,970.03	50.92
Zonas de cultivo	1,648.92	1.06
Asentamientos humanos	1,347.75	0.87
Suelos sin vegetación y deslaves	178.59	0.11
<b>Subtotal</b>	<b>82,145.29</b>	<b>52.97</b>
<b>OTROS</b>		
Cuerpos de agua	1,310.81	0.84
Dunas costeras y playas	197.57	0.12
Nubes	231.07	0.15
<i>Sin cartografiar por desajuste de la poligonal de la reserva en el litoral del Golfo de México</i>	186.28	0.12
<b>Subtotal</b>	<b>1,925.73</b>	<b>1.24</b>
<i>Suma uso del suelo y vegetación</i>	<b>155,067.00</b>	<b>100.00</b>
<i>Área total RB Los Tuxtlas</i>	<b>155,067.00</b>	<b>100.00</b>



**Fig. 11. Uso del Suelo y Vegetación 2011 de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas**

A primera vista destaca que, en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, domina el paisaje transformado por las actividades humanas agrupadas en las categorías NO Forestales. El conjunto de estas categorías ocupa el 53% del territorio de la ANP y destaca que el uso del suelo dominante en la reserva son los pastizales inducidos, cuya cobertura representa el 51% del territorio de la reserva con 78,970 hectáreas. Las otras categorías No Forestales, como asentamientos humanos, zonas de cultivo y suelos sin vegetación, apenas equivalen al 2.04% del territorio analizado, aún cuando la superficie de los asentamientos humanos se ha incrementado de manera importante en los últimos cuatro años (Fig. 11)

Respecto a las categorías de uso del suelo Forestal, encontramos que el Bosque tropical perennifolio o Selva alta y mediana perennifolia, el Bosque Tropical perennifolio en malpaís y la vegetación secundaria de esta comunidad vegetal son los tipos de vegetación más importantes de la reserva, ya que las 54,317 hectáreas cubiertas por el conjunto de estos tipos de vegetación representan el 35% de la superficie de la ANP Los Tuxtlas.

Estas comunidades se distribuyen en las partes bajas y laderas medias de la vertiente del Golfo (al norte, este y oeste de la sierra) y la porción media de la vertiente continental al sur-suroeste de la sierra; en las márgenes de los ríos más importantes se encuentra vegetación rarápica.

Muy relacionadas con el bosque tropical perennifolio se encuentran las comunidades vegetales de zonas bajas denominadas por Rzedowski (1978) como vegetación acuática y subacuática. En las planicies inundables cercanas a las laguna de Sontecompan se desarrolla el manglar y diversas comunidades de hidrófitas (popal, camalotal, mucalería y apompal), vegetación que en conjunto cubre 1,565.35 hectáreas y representa el 1.01% del territorio de la reserva de la biosfera.

Sobre el cordón litoral, en dunas como en acantilados se encuentra vegetación costera, con una cobertura de 501.07 hectáreas (0.32%)

El Bosque Mesófilo de Montaña y la vegetación secundaria de esta comunidad vegetal ocupan el 6% de la superficie de las partes medias y altas de los tres grandes volcanes o macizos montañosos que integran la región (9,506.57 Ha). Ramírez (1999) reconoció cuatro subtipos de bosque mesófilo de montaña a los que denominó genéricamente como selva mediana perennifolia de montaña, pero este bosque mesófilo también incluye a las comunidades vegetales que coronan las laderas altas, escarpes y crestas de las montañas más altas, a las que Miranda y Hernández X. (1963) denominaron selva baja perennifolia y el matorral perennifolio.

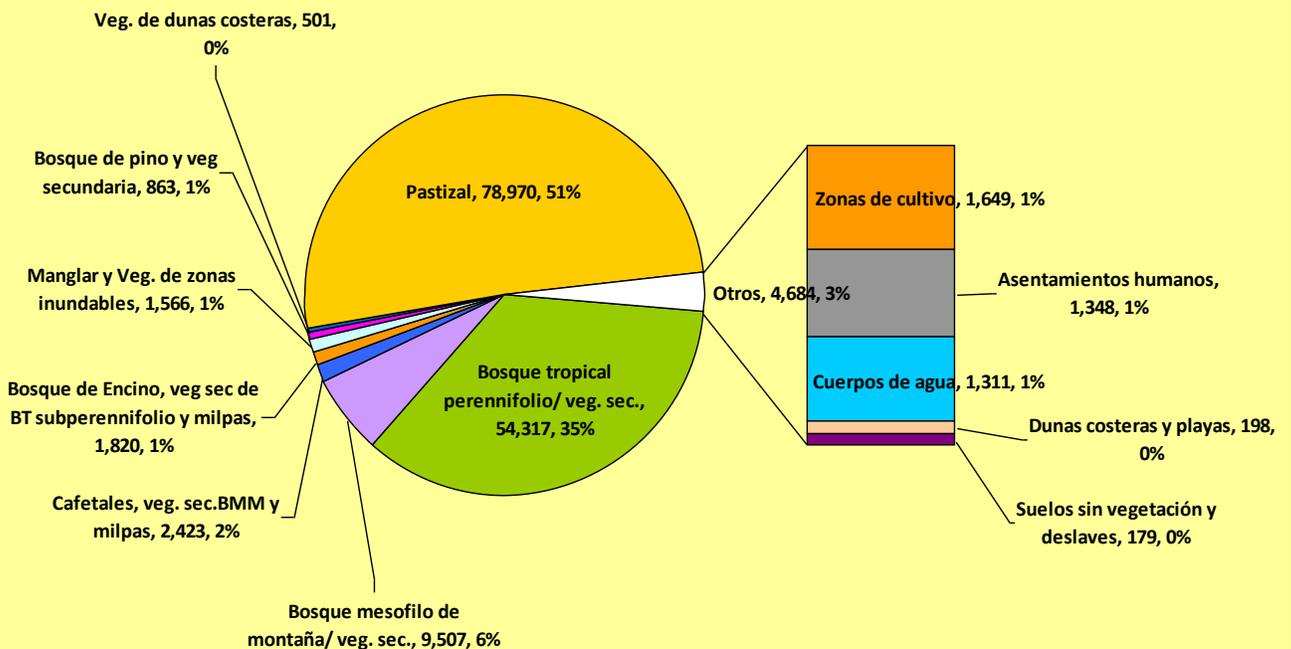
En los anteriores estudios del uso del suelo elaborados por técnicos de CONANP (Velasco, 2005, 2007, 2009), el Bosque Mesófilo de Montaña está sub-representado en la Sierra de Santa Marta y no se consideraba su existencia en el volcán San Martín Pajapan. En ésta última elevación de 1250 msnm, el Bosque Mesófilo de Montaña se encuentra desde los 700 msnm en su vertiente orientada al Golfo de México y desde los 800 msnm en su vertiente continental. El Bosque Mesófilo de Montaña en la Sierra de Santa Marta cubre una extensión mayor a la que se pudo reflejar en el mapa final, ya que los límites inferiores de esta comunidad se ubican en altitudes similares a las reportadas para el volcán San Martín Pajapan, por lo que los componentes florísticos de este bosque se encuentra en las crestas y todas las elevaciones serranas que superen los 600 metros de altitud (Ramírez, 1999).

Los cafetales y la vegetación secundaria de bosque mesófilo de montaña abarcan la zona intermedia de las laderas meridionales del volcán Santa Marta, la caldera Bastonal-Yahualtajapan. Las 2,423 hectáreas de estos fragmentos arbolados, se distribuyen en forma de una franja de aproximadamente 3-4 km de ancho que cruza de oeste a este los ejidos de El Tulín, Ocozotepec, San Fernando, Ocotál Chico hasta Plan Agrario. Este territorio constituye la zona cafetalera del municipio de Soteapan. Originalmente había un bosque dominado por varias de especies de encinos y *Liquidambar* y otras especies. Actualmente este bosque está sometido a una fuerte presión humana por estar ubicado en parcelas ejidales donde se ha talado para cultivar maíz y café. El sistema de cultivo de café rusticano se caracteriza por

mantener la mayor parte de los árboles del bosque para dar sombra a las plantas de café y actualmente también para dar sombra a 660 hectáreas sembradas con especies de palma camedor para la extracción de follaje de palmas comerciales.

En la zona cálida subhúmeda ubicada de 50 a 500 metros de altitud, en la vertiente continental al sur y suroeste del área de estudio, se entremezclan formando un mosaico muy complejo de vegetación y agricultura tradicional, los bosques de pino, bosques de encinos y sabanas con nanche. En las cañadas y partes bajas se encuentra vegetación secundaria derivada del bosque tropical subperennifolio, convertido en parte en cafetales de zonas bajas, pero que se mantiene presente en las márgenes de los ríos y arroyos en toda el área de distribución de los encinares y pinares. El conjunto de estos tipos de vegetación cubre 2,682.61 hectáreas, que equivalen al 1.72% del superficie decretada como reserva de la biosfera.

**Fig. 12. Importancia de las categorías de uso del suelo y vegetación en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas en 2011 (Ha, %)**



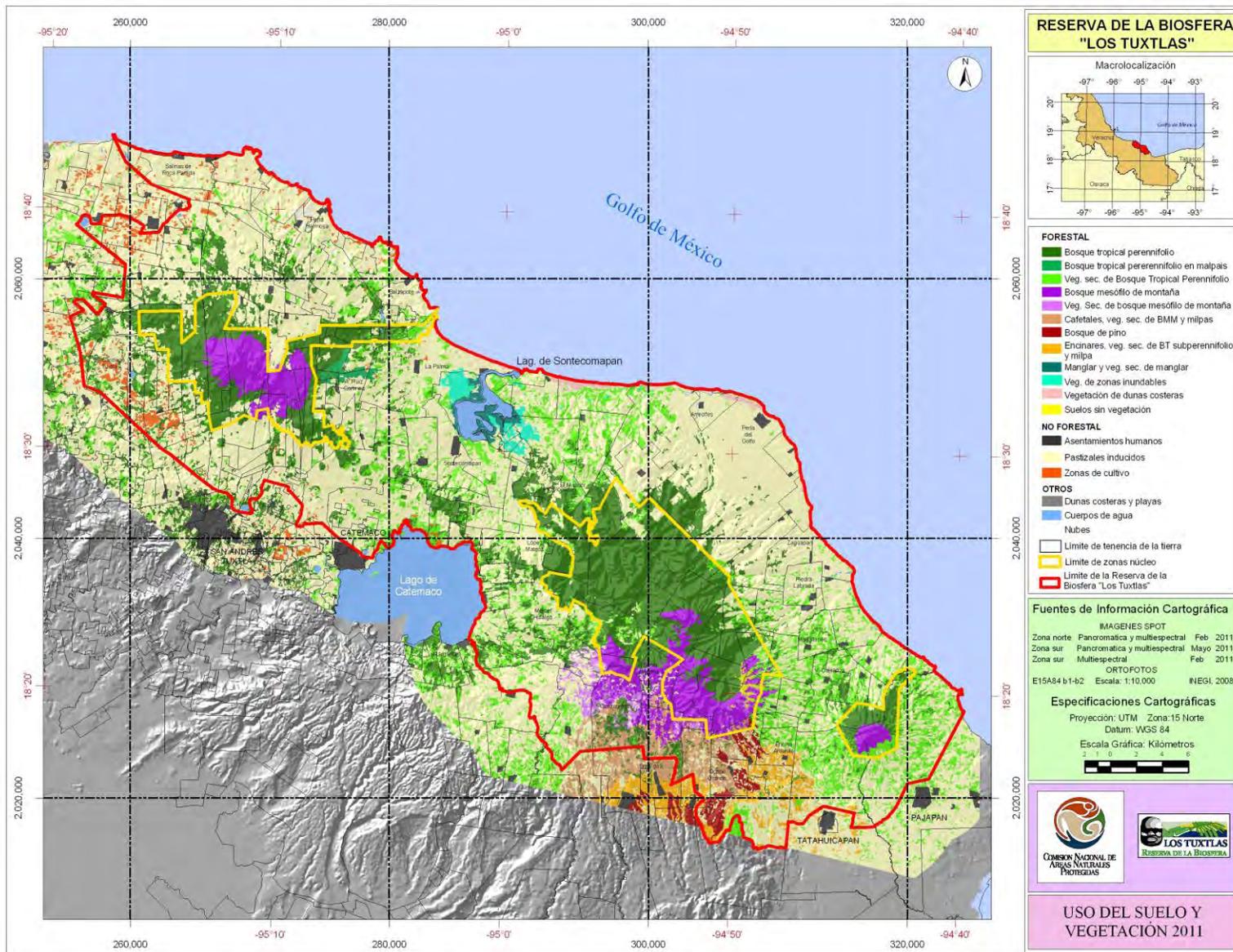


Fig. 13. Uso del Suelo y Vegetación 2011 de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas con límites de tenencia de la tierra y zonificación

#### **4. Superficie transformada y tasa de cambio 2007-2011 en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas**

En la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas continuó el proceso de deforestación durante el periodo 2007 – 2011, después de un periodo de aparente re-vegetación, de acuerdo a los datos reportados por Velasco (2009). Los técnicos de CONANP informaron que la cubierta forestal de la reserva en el año 2005 era de 70,434 hectáreas y se incrementó a 71,924 hectáreas para el año 2007, con una ganancia de 1,490 hectáreas de cubierta forestal en dos años (Velasco, 2009).

Los resultados obtenidos en este estudio, muestran claramente que hubo un **perdida de cubierta forestal de 928 hectáreas entre 2007 y 2011**, al descender la superficie forestal de la reserva de 71,924 hectáreas a 70,996 ha en 2011. A pesar de que en este estudio se realizó una clasificación detallada de todos los fragmentos de vegetación por más pequeños que estos fueran.

La pérdida de cubierta forestal en la reserva, durante el periodo de cuatro años analizado, es del orden de **232 hectáreas promedio por año**, lo que equivale a una **tasa de deforestación anual estimada de 0.32 % por año**.

No fue posible elaborar una matriz de transición 2007-2011 para documentar los cambios por tipo de vegetación y uso del suelo durante este periodo. La razón fundamental giro en torno a las diferencias de interpretación y asignación de los polígonos a las distintas categorías. Por ejemplo, en algunos casos no había vegetación donde el polígono que delimitaba un espacio estaba etiquetado con una categoría forestal inexistente; en otros casos ocurría lo contrario, al haber efectuado una clasificación muy general se englobó dentro de un mismo polígono a fragmentos de vegetación secundaria, pastizales y zonas agrícolas, todo dentro de un polígono etiquetado como vegetación secundaria. De forma tal que los resultados del mapa de uso del suelo 2007 no podían ser comparables con la detallada clasificación que hicimos de las imágenes satelitales de 2011 (ver la tabla 7). La construcción de la matriz de transición requeriría la clasificación de la imagen de 2007 con el mismo método e interpretación con que fue realizado el mapa de 2011 para ser comparable.

**Tabla 7. Comparación de las categorías de Uso del Suelo y Vegetación de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas durante el periodo 2007 - 2011**

TIPO DE VEGETACIÓN	SUPERFICIE 2011 (HA)	SUPERFICIE 2007 (HA)	Diferencia
<b>FORESTAL</b>			
Bosque tropical perennifolio	34,896.58	31,508.00	3,388.58
Bosque tropical perennifolio en malpaís	404.72		
Vegetación secundaria de Bosque tropical perennifolio	19,015.92	30,518.00	-11,906.80
Bosque mesófilo de montaña	8,253.77	5,347.00	2,906.77
Vegetación Secundaria de Bosque Mesófilo de Montaña	1,252.80	429.00	823.80
Cafetales, vegetación secundaria de Bosque Mesófilo de Montaña y milpas	2,423.16		2,423.16
Bosque pino y vegetación secundaria	862.91	1,384.00	-521.09
Bosque de Encino, vegetación secundaria de Bosque tropical subperennifolio y milpas	1,819.70	1,479.00	340.70
Manglar y vegetación secundaria de manglar	651.72	629.00	22.72
Vegetación de zonas inundables	913.63	371.00	542.63
Vegetación de dunas costeras	501.07	151.00	350.07
Áreas sin vegetación aparente		108.00	-108.00
<b>Subtotal</b>	<b>70,995.98</b>	<b>71,924.00</b>	<b>-928.02</b>
<b>NO FORESTAL</b>			
Asentamientos humanos	1,347.75	923.00	424.75
Pastizal	78,970.03	59,633.00	19,337.03
Zonas de cultivo	1,648.92	21,223.00	- 19,574.08
Suelos sin vegetación y deslaves	178.59	-	178.59
<b>Subtotal</b>	<b>82,145.29</b>	<b>81,779.00</b>	<b>366.29</b>
<b>OTROS</b>			
Cuerpos de agua	1,310.81	1,364.00	-53.19
Dunas costeras y playas	197.57		197.57
Nubes	231.07	-	231.07
<i>Sin cartografiar por desajuste de la poligonal de la reserva en el litoral del Golfo de México</i>	186.28	-	186.28
<b>Subtotal</b>	<b>1,925.73</b>	<b>1,364.00</b>	<b>561.73</b>
<b>Suma uso del suelo y vegetación</b>	<b>155,067.00</b>	<b>155,067.00</b>	<b>0.00</b>
<b>Área total RB Los Tuxtlas</b>	<b>155,067.00</b>	<b>155,067.00</b>	<b>0.00</b>

## 5. Tasa de transformación del hábitat en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas durante el periodo 1980-2011

La superficie forestal de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas ha perdido 30,074 hectáreas durante el periodo 1980-2011 (tabla 8). Esta superficie deforestada o transformada al uso agropecuario corresponde al 19.41% de la superficie total del actual territorio decretado como Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas. El resultado del análisis del proceso de transformación del hábitat en Los Tuxtlas durante 31 años (1980-2011), arroja una **tasa promedio anual de deforestación de 1.15%**. Este resultado implica que Los Tuxtlas presenta una la tasa de transformación más alta de las tres Eco-regiones trabajadas por el Proyecto MIE -CONANP.



Fig. 14. Tendencias del proceso de transformación del hábitat en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas durante el periodo 1980 – 2011

En la Fig. 14 se observa el proceso de transformación y de pérdida de la cubierta forestal en el territorio de lo que el día de hoy es la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas. Los datos acumulados del proceso de pérdida de la cubierta forestal en Los Tuxtlas muestran que la tasa de deforestación se mantuvo en ascenso hasta el año de 1995. En este año la superficie Forestal y la superficie No Forestal tuvieron valores equiparables en superficie alcanzando el punto de intersección como se puede ver en la figura 14. A partir de 1995 se ha mantenido la tendencia al incremento de la superficie No Forestal y a la disminución de la cobertura forestal en la Reserva.

Antes de 1995, se identifican dos periodos de intensa deforestación en una etapa de 16 años; uno que comprende de 1980 a 1988, con una pérdida estimada de 1,156 hectáreas de vegetación por año, que equivalen a una tasa de cambio anual de 1.19%. Un segundo periodo de ocho años de deforestación se dio entre 1988 y 1996, periodo durante el cual la pérdida de la cubierta forestal de nuestra actual reserva se intensificó al máximo con una tasa de cambio de 2.48% anual y con una pérdida de 2,100 hectáreas de cubierta forestal por año (Fig. 14 y Tabla 9).

Posteriormente, desde 1996 se observa una tendencia descendente de la tasa de transformación en la región, llegando a estabilizarse en el año 2000, pero con ligeras variaciones entre un año y otro, debido probablemente a las afectaciones provocadas por las quemadas agrícolas y los incendios forestales recurrentes en la época seca.

A partir del año 2000 el proceso de deforestación en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas presenta una tendencia descendente, pero continua, hasta el año 2004, ya que la cubierta forestal en el año 2000 sumaba 72,868 hectáreas y se redujo para el año 2004 a 71,700 hectáreas. La pérdida de cubierta forestal acumulada durante ese periodo fue de 1,168 hectáreas en cuatro años, lo que en promedio significa una pérdida de 292 hectáreas por año.

Durante el periodo 2004-2005 se presentó un nuevo incremento en la pérdida de vegetación, con la transformación de 1,266 hectáreas de cubierta forestal. De acuerdo a Velasco (2009), esto pudo deberse a incendios forestales importantes y a la intensa actividad de quemas agrícolas que se presentaron en ese año.

En cambio durante el periodo 2005-2007, el análisis de la transformación del hábitat de Los Tuxtlas elaborado por CONANP con financiamiento del Proyecto MIE, concluye que el proceso de transformación de la cubierta forestal en esta ANP tiende a disminuir e, inclusive, se ofrecen datos que muestran un proceso de re-vegetación con una ganancia neta de 1,490 hectáreas de cubierta forestal (Velasco, 2009).

Por último en el periodo que se analiza en este estudio, la deforestación retoma la tendencia que se observó hasta 2004, con una pérdida de 928 hectáreas en cuatro años. Estos datos se pueden observar en la tabla 9 y en el figura 15.

**Tabla 9. Tasa de Transformación Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, Ver, en el periodo 1980-2011**

Periodo	s1	s2	Cambio (Ha)	Años	Tasa de cambio	Tasa de cambio anual (%)	Ha/Año	Cambio acumulado (ha)
1980-1988	101,470	92,220	9,251	8	0.011878	1.19	1,156	-9,251
1988-1996	92,220	75,415	16,804	8	0.024832	2.48	2,101	-26,055
1996-2000	75,415	72,868	2,547	4	0.008553	0.86	637	-28,602
2000-2003	72,868	72,190	678	3	0.003113	0.31	226	-29,280
2003-2004	72,190	71,700	489	1	0.006780	0.68	489	-29,770
2004-2005	71,700	70,434	1,266	1	0.017658	1.77	1,266	-31,036
2005-2006	70,434	71,063	-629	1	-0.008933	-0.89	-629	-30,407
2006-2007	71,063	71,924	-861	1	-0.012111	-1.21	-861	-29,546
2007-2011	71,924	70,996	928	4	0.003242	0.32	232	-30,474
<b>1980-2011</b>	<b>101,470</b>	<b>70,996</b>	<b>30,474</b>	<b>31</b>	<b>0.011455</b>	<b>1.15</b>	<b>983</b>	<b>-30,474</b>

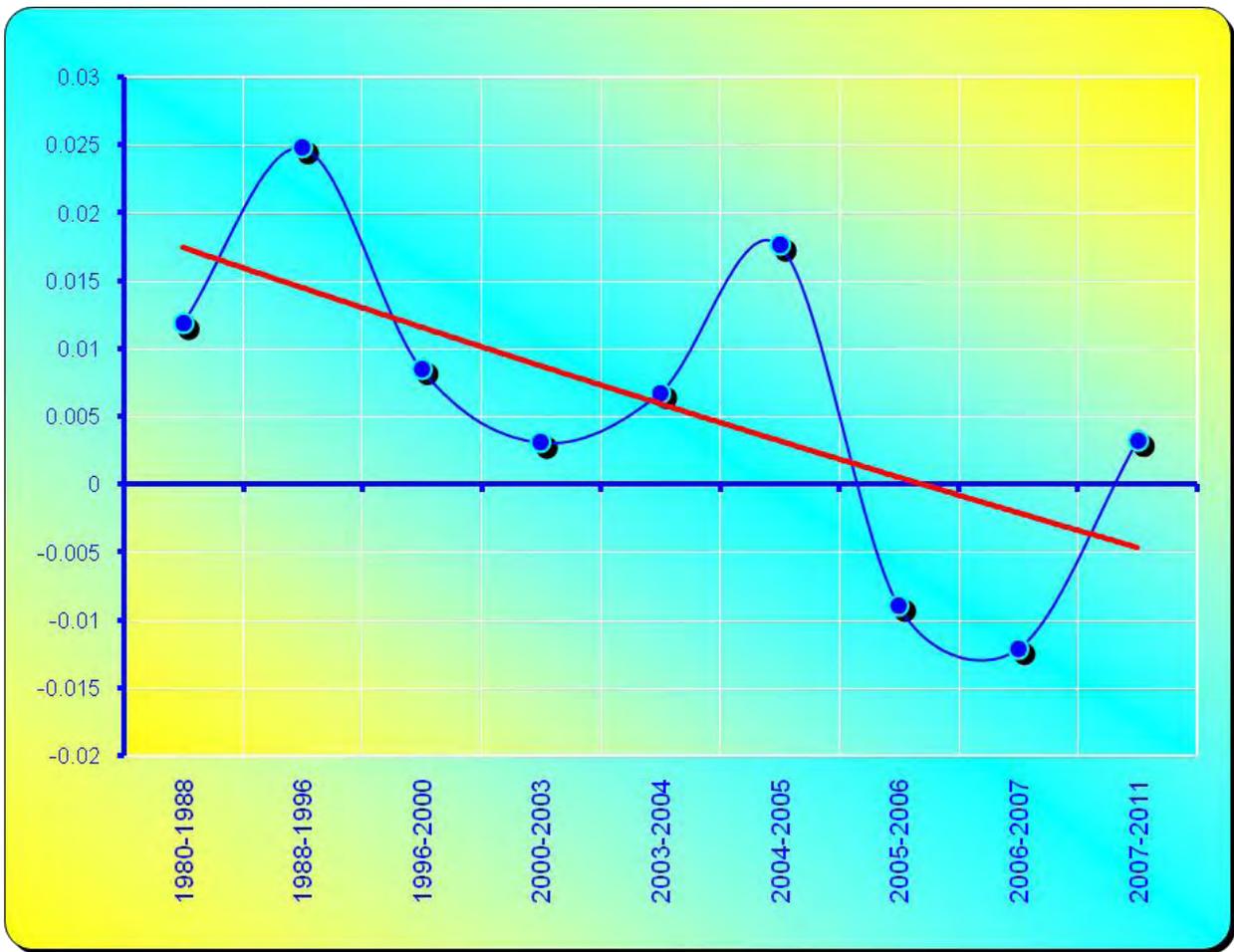


Fig. 15. Tasas de cambio en Los Tuxtlas, durante el periodo 1980 – 2011

Los resultados obtenidos en este estudio, muestran que hubo un perdida de cubierta forestal de 928 hectáreas entre 2007 y 2011, al descender la superficie forestal de la reserva de 71,924 hectáreas a 70,996 ha en 2011. La perdida de cubierta forestal en la reserva fue del orden de 232 hectáreas promedio por año, lo que equivale a una **tasa de deforestación anual estimada de 0.32 % por año.**

## **6. Áreas críticas por atender en las Zonas Núcleo de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas**

Se identificaron 11 áreas críticas en las tres zonas núcleo de la Reserva de la Biosfera. Estas áreas se seleccionaron en razón de observarse en los mapas procesos de pérdida de la cubierta forestal que deben ser atendidos y monitoreados por las autoridades ambientales y la Dirección de la Reserva. Estas áreas de atención prioritaria han sido afectadas principalmente por presión humana y algunas por deslaves y deslizamientos de tierra provocados por las tormentas tropicales y huracanes que azotaron el sur de Veracruz en el 2010. A continuación se tratarán brevemente los casos organizados por zona núcleo.

### **6.1. Zona Núcleo San Martín Tuxtla.**

En la figura 16, se muestran en círculos rojos las áreas críticas 6, 7, 8, 9 y 10, que corresponden a los siguientes ejidos y predios:

**Caso 6.-** Ejido Adolfo Ruiz Cortinés

**Caso 7.** Ejidos Buenavista, Tepancán, barrio Lerdo de Tejada, Belén Chico, Emiliano Zapata y Santa rosa Abata

**Caso 8.** Ejidos Primero de Mayo y José María Morelos, municipio de San Andrés Tuxtla.

**Caso 9.** Ejidos Tepancan, municipio de San Andrés Tuxtla.

**Caso 10.** Ejido Perla de San Martín, municipio de Catemaco

**Caso 11.** Ejido Laguna Escondida – estación de Biología tropical Los Tuxtlas de la UNAM

Los propietarios y habitantes de estos ejidos han removido la cubierta forestal dentro del límite legal de la zona núcleo, en mayor o menor medida. Las imágenes disponibles de 2007 y 2011 muestran que en los últimos cuatro años no ha habido un avance en este proceso de deforestación. Sin embargo, se requiere monitorear para prevenir, sobre todo en la época seca, posibles acciones de desmonte en los terrenos ejidales que constituyen esta zona núcleo que no fue expropiada. Resulta

particularmente crítico buscar alternativas a la incursión de los ejidatarios de Laguna Escondida (11) que han interrumpido la continuidad de la selva de la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas de la UNAM. De la misma forma se requiere especial atención y trabajo con el Ejido Perla de San Martín (10) para evitar que fraccionen la zona núcleo en los terrenos que usufructúan.

En los casos 6, 7, 8 y 9 que comprenden deforestaciones de distinta magnitud dentro de la zona núcleo, es imprescindible revertir el proceso destructivo de la vegetación ofreciendo alternativas productivas que sean compatibles con las leyes y normas que regulan las zonas núcleo de las áreas naturales protegidas.

## 6.2. Zona Núcleo Volcán San Martín Pajapan

**Caso 5.** Se sugiere atender los deslaves y deslizamientos de tierra con bosques y selvas primarios que afectaron notablemente la geoestabilidad de este volcán que forma parte de los Bienes Comunes de la Comunidad Agraria de Pajapan, en el municipio del mismo nombre. En la Fig. 16 se puede observar a la izquierda, en la imagen de 2011, las grandes cárcavas y áreas con suelos desnudos que dejaron a su paso los deslaves y deslizamientos de tierra provocados por las extraordinarias precipitaciones asociadas a la tormenta tropical Matthew y el huracán Karl que azotaron el sur de Veracruz en el 2010 (Fig. 17-5).

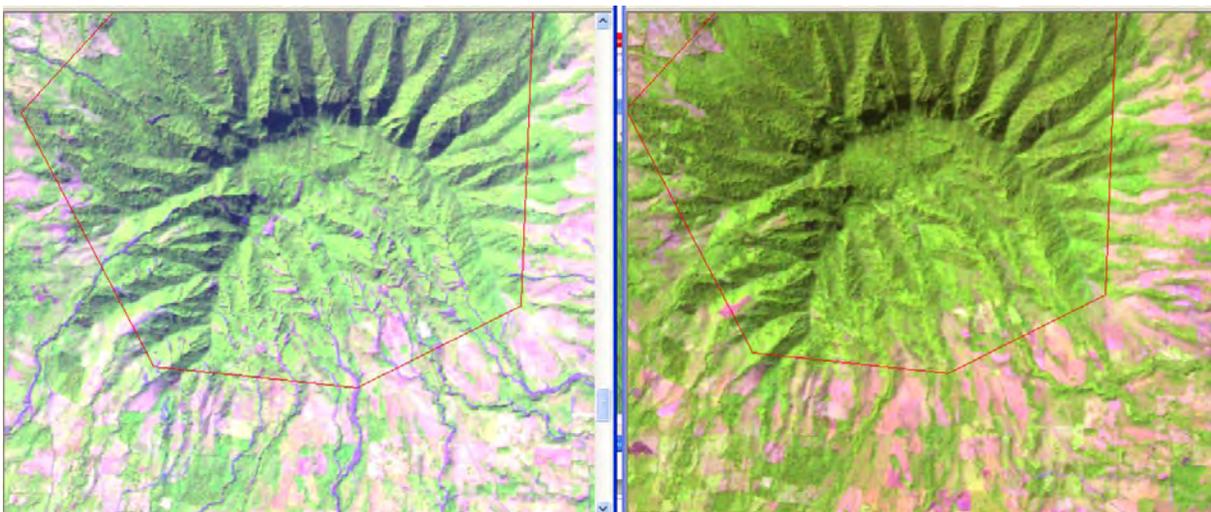
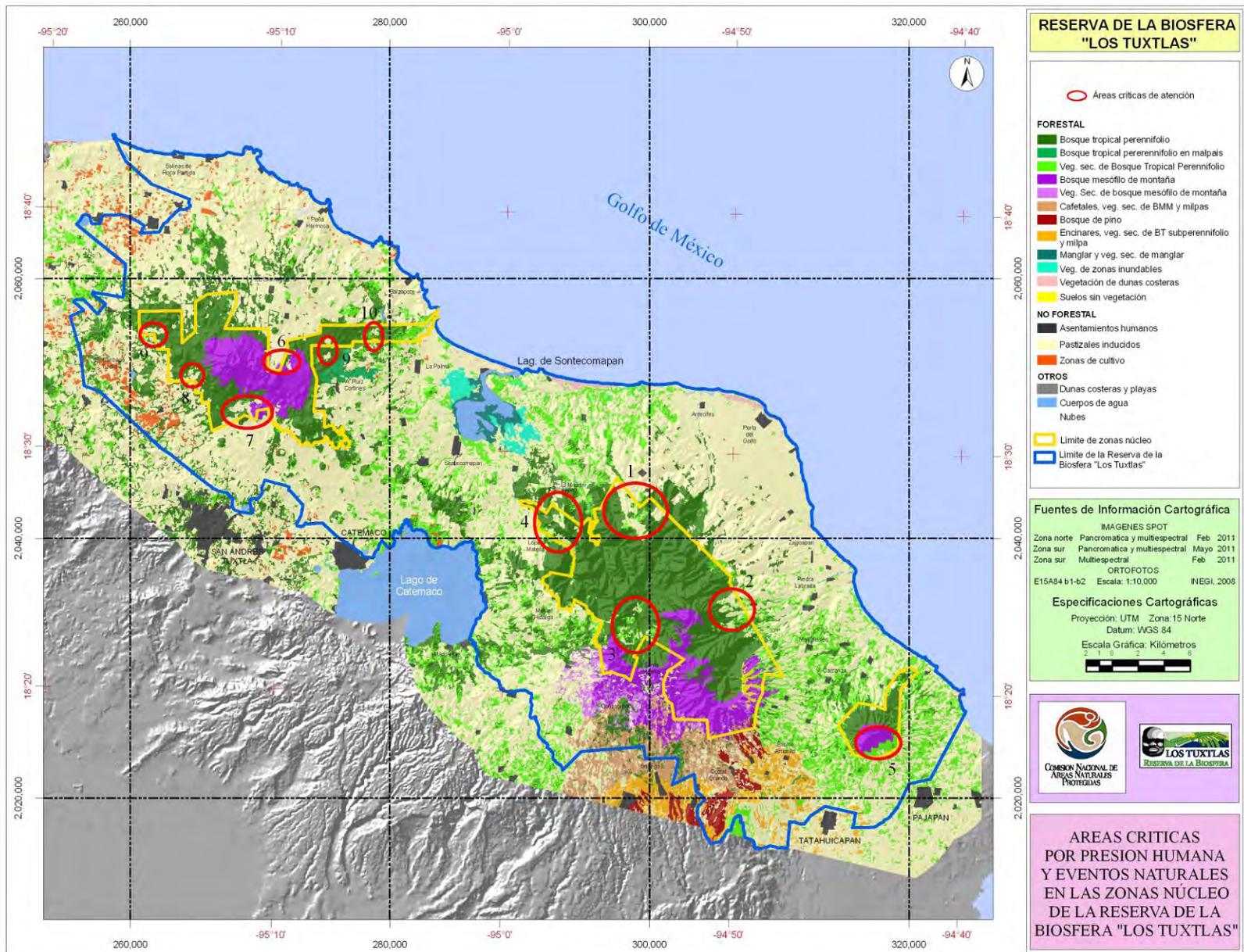


Fig. 16. Derrumbes y cárcavas impresionantes provocadas por la tormenta tropical Matthew en 2010 en la Zona Núcleo San Martín Pajapan (izquierda: imagen del 09 de febrero de 2011, a la derecha imagen de abril de 2007.)



**Fig. 17. Áreas críticas de atención prioritaria para evitar el avance de la deforestación en las Zonas Núcleo de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas**

### 6.3. Zona Núcleo Sierra de Santa Marta.

En la Zona Núcleo Sierra de Santa Marta se trata de cuatro frentes de deforestación que están afectando de manera notable los recursos naturales y la cubierta forestal decretada como zona núcleo. Algunos de estos casos tienen particular relevancia por encontrarse en terrenos expropiados por la Federación y el Gobierno de Veracruz para constituir esta zona núcleo, terrenos que por Ley no pueden ser transformados por actividades humanas.

**Caso 2. Ejido General Emiliano Zapata y nuevo asentamiento Lucio Blanco.** Una parte importante del ejido Emiliano Zapata está dentro de los límites de la zona núcleo Santa Marta y continúa avanzando el desmonte para establecer pastos inducidos para ganado vacuno. En el límite noroccidental de este ejido se han afectado aproximadamente 100 hectáreas con la instalación de un asentamiento irregular que solicita dotación agraria en terrenos expropiados. Comparando las imágenes satelitales SPOT de 2007 y 2011 se puede apreciar el avance de la deforestación dentro de la zona núcleo para establecer pastos en los terrenos del Ejido Emiliano Zapata, municipio de Tatahuicapan de Juárez.

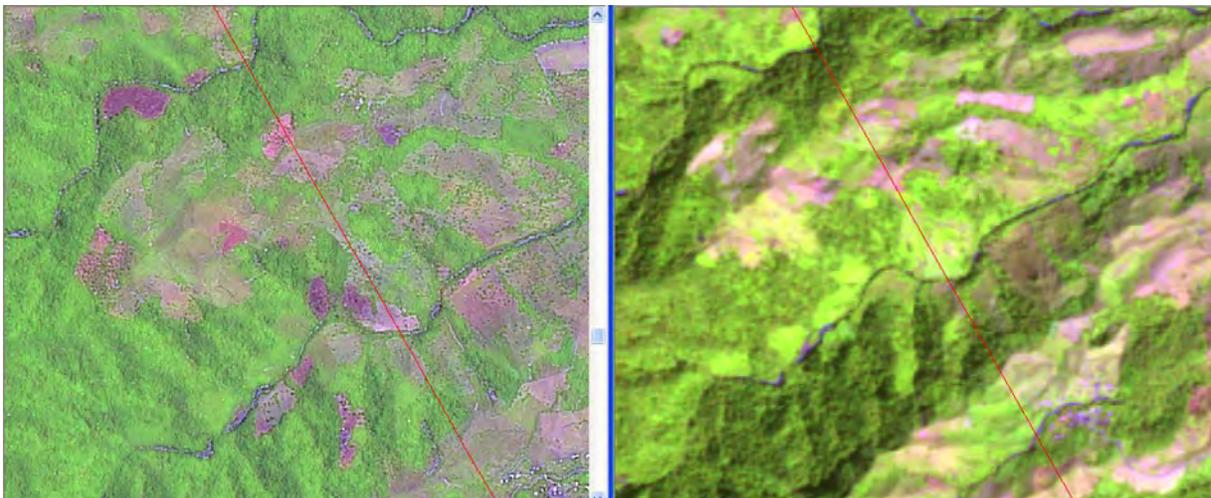


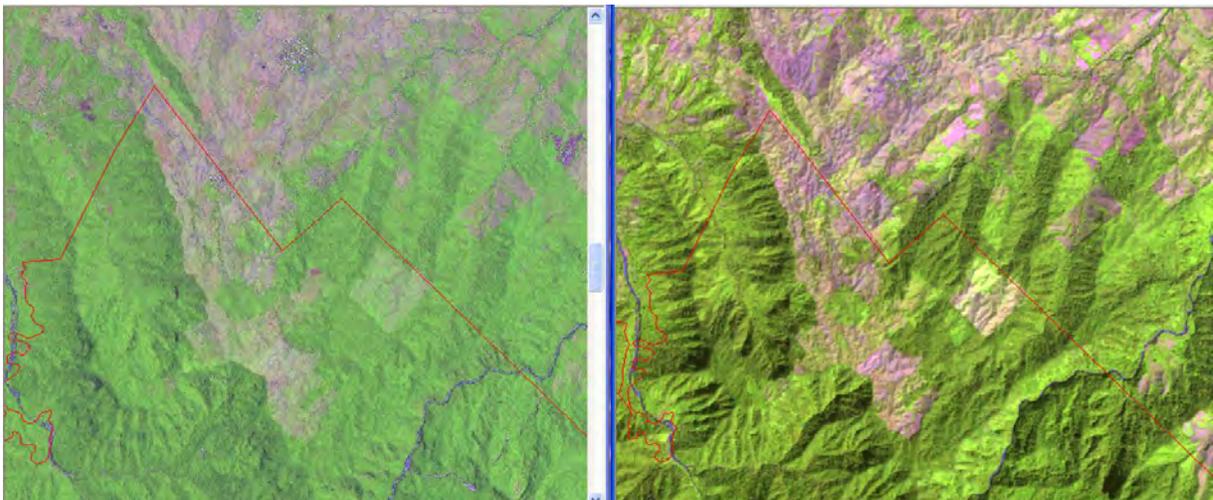
Fig. 17. A la izquierda, en la imagen de 2011, se puede apreciar el avance de los desmontes para establecer potreros para ganado vacuno en ambos márgenes del río Sochiapan, en la esquina inferior derecha se observa el poblado de Emiliano Zapata (izquierda: imagen del 09 de febrero de 2011, a la derecha imagen de abril de 2007.)

### **Caso 1. Ejidos Paraíso y Predios de la Colonia la Perla del Golfo.**

El 80% del territorio del Ejido Paraíso, antes conocido como Francisco Villa, quedó incluido dentro de la Zona Núcleo Santa Marta cuando mantenía la mayor parte de su cobertura forestal. Al decretarse la reserva en 1998, los ejidatarios apuraron el desmonte para evitar una supuesta expropiación de sus parcelas.

Al igual que en el ejido Paraíso, durante el periodo 1996-2000, también se desmontaron predios vecinos pertenecientes a la llamada ampliación de la Colonia La Perla del Golfo, los cuales fueron expropiados al Sr. Almeida por el Gobierno del Estado de Veracruz para integrar la zona núcleo. Estos predios por ser parte del patrimonio del Estado no deberían estar aprovechando para la ganadería como ocurre hoy día.

Sería recomendable realizar el deslinde de tierras y promover alternativas productivas que permitan recuperar la cobertura forestal en estas áreas, o bien redefinir la zona núcleo.

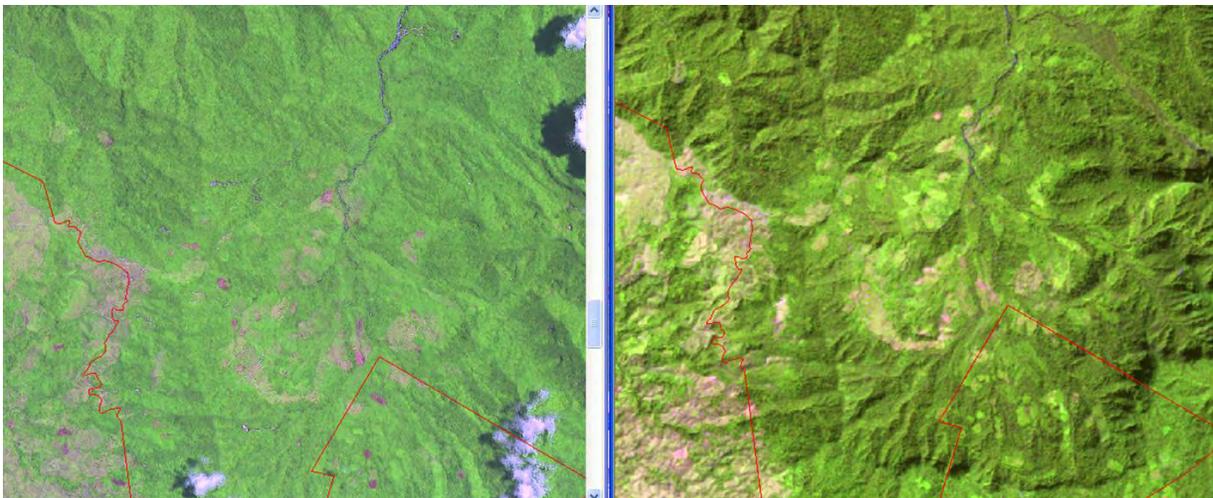


**Fig. 18.** A la izquierda, en la imagen de 2011, se puede apreciar la persistencia de los desmontes y la vigencia del uso ganadero de las parcelas ejidales de Paraíso y su centro de población dentro de los límites de la zona núcleo. En la parte central inferior de la imagen y dentro del límite de la zona núcleo se observan predios cuadrados de 100 hectáreas con pastos inducidos en uso dentro de la zona expropiada de la ampliación de la Colonia La Perla del Golfo. (izquierda: imagen del 09 de febrero de 2011, a la derecha imagen de abril de 2007.)

### **Caso 3. Nuevo México y Ampliación del ejido Miguel Hidalgo.**

Los pobladores popolucas del asentamiento irregular de Nuevo México en terrenos de expropiados a propietarios privados de la Colonia El Bastonal continúan haciendo uso de los terrenos que se posesionaron antes del decreto de la reserva. Actualmente el poblado de Nuevo México tiene el reconocimiento como Agencia Municipal de Sotepan y sus habitantes cuentan con algunos apoyos para la producción de autoconsumo y la ganadería.

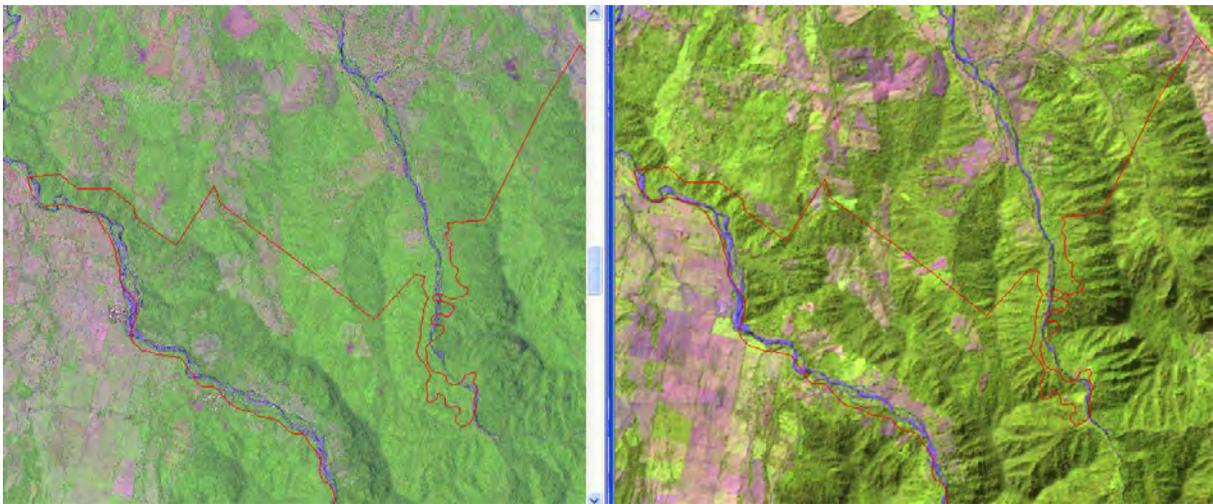
La existencia del poblado de Nuevo México dificulta la conservación de la zona núcleo, y ha alentado a los antiguos dueños de la ampliación del Ejido Miguel Hidalgo, expropiados para integrar la zona núcleo, a mantener sus potreros y la extracción de recursos en sus antiguas tierras alegando tener más derecho que los popolucas asentados en Nuevo México. Un problema adicional de difícil solución en esta área, es la fuerte presión humana sobre la fauna local y otros recursos que se extraen del bosque, ya que el paraje conocido como La Azufrera, en las márgenes del río Huatzinapan, es un área tradicional de caza y pesca para los popolucas de la sierra que no ha dejado de utilizarse para tales fines a pesar del decreto expropiatorio y el establecimiento de la reserva en 1998.



**Fig. 19.** A la izquierda, en la imagen de 2011, se puede apreciar la persistencia de los desmontes y la vigencia del uso ganadero en el asentamiento de Nuevo México y los terrenos expropiados de la ampliación del Ejido Miguel Hidalgo dentro de la zona núcleo.

#### **Caso 4. Península de Moreno.**

Este caso es similar a los antes comentados. Los ejidatarios expropiados para integrar la zona núcleo, cobraron la indemnización, pero se han negado a abandonar las tierras que usufructuaba para uso ganadero. En las imágenes de 2011 y 2007 no se observan cambios notables en las áreas sin cobertura forestal y se constata que continúa el uso de los potreros en este ejido expropiado. El centro de población de Península de Moreno que se reubico en la margen izquierda del río Coxcoapan ha incrementado su superficie habitada.



**Fig. 20.** A la izquierda, en la imagen de 2011, se observa que prevalece el uso ganadero de las parcelas ejidales expropiadas a los habitantes de Península de Moreno. La línea roja marca el límite de la zona núcleo (izquierda: imagen del 09 de febrero de 2011, a la derecha imagen de abril de 2007.)

## VII. CONCLUSIONES

1. Se rectificaron y procesaron cinco imágenes SPOT para la clasificación del uso del suelo y la vegetación 2011 de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, cubriendo una superficie de 209,883.9 hectáreas, las cuales comprenden las 155,067 hectáreas decretadas como ANP y una zona buffer de cinco kilómetros alrededor del límite de la zona de amortiguamiento.
2. Se obtuvieron 19 categorías de uso del suelo y vegetación para la Región de Los Tuxtlas, agrupadas en tres conjuntos: 1) **Forestal** con 11 categorías que incluyen vegetación primaria y estados sucesionales; 2) **No Forestal** con 4 categorías; y, 3) **Otros tipos de cobertura**, con 4 categorías.
3. En 2011 la cobertura forestal se redujo al 46% de la superficie total de la reserva (70,996 Ha), en tanto que los pastizales, zona agrícola, asentamientos humanos y suelos sin vegetación comprenden 82,145 hectáreas, que equivalen al 53% del territorio decretado como Reserva.
4. El uso del suelo dominante en la reserva son los pastizales inducidos, cuya cobertura representa el 51% del territorio de la ANP cubriendo 78,970 ha.
5. Se estimó que en la reserva se conservan 45,621 hectáreas de vegetación primaria, incluyendo entre ésta bosque tropical perennifolio, bosque mesófilo de montaña, manglar, vegetación de zonas inundables y costera.
6. Las 54,317 hectáreas de bosque tropical perennifolio o selva alta y mediana perennifolia y la vegetación secundaria de estas comunidades vegetales representan el 35% de la superficie de la ANP Los Tuxtlas.
7. El Bosque Mesófilo de Montaña y la vegetación secundaria de esta comunidad vegetal ocupan el 6% de la superficie de las partes medias y altas de los tres grandes volcanes que integran la región (9,506.57 Ha).
8. La zona habitada por indígenas popolucas y nahuas en el sur-sureste de la reserva se mantiene como un complejo mosaico de vegetación, milpas, cafetales, sistemas agroforestales con palma camedor, bosque mesófilo de montaña, vegetación secundaria e bosque tropical perennifolio, pinares,

encinares y sabanas. El conjunto de este territorio predominantemente agroforestal cuenta con 8,682 hectáreas forestales.

9. En el periodo 2007-2011 hubo un pérdida de cubierta forestal de 928 hectáreas, al descender la superficie forestal de la reserva de 71,924 ha a 70,996 ha en 2011.
10. La tasa de deforestación estimada para el periodo 2007-2011 fue de 0.32 % por año, con una pérdida de 232 hectáreas promedio por año.
11. Se han perdido 30,074 hectáreas forestales en el actual territorio decretado como Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas durante el periodo 1980-2011, superficie que corresponde al 19.41% del territorio de la ANP.
12. La tasa promedio de transformación del hábitat en Los Tuxtlas durante 31 años (1980-2011), descendió a 1.15% anual.
13. Se identificaron 11 áreas críticas o de atención prioritaria en las tres Zonas Núcleo de la Reserva de la Biosfera. En estas áreas se observa pérdida de la cubierta forestal que debe ser atendida y monitoreada por las autoridades ambientales y la Dirección de la Reserva
14. Es recomendable profundizar y continuar estos estudios para estandarizar las categorías de uso del suelo y vegetación con criterios científicos y mayor información de campo, a fin de contar con una herramienta confiable para el monitoreo de los recursos naturales de la reserva, así como para determinar con mayor precisión las clases a las que corresponde cada zona, identificando los cambios, las pérdidas o las ganancias en la cobertura forestal.

## BIBLIOGRAFÍA

Álvarez del Castillo, G.C. 1977. Estudio ecológico y florístico del cráter del Volcán San Martín Tuxtla, Ver. México. *Biótica* 2 (1): 3-54.

Andrle, R.F. 1964. A Biogeographical Investigation of the Sierra de Tuxtla in Veracruz, Mexico. Ph. D. Dissertation Geography and Antropology. Lousiana State University. University Microfilms, Inc., Ann Arbor., Michigan. 263 p.

Azuara, R. L. S.f. *Modelación Estocástica y Espacial de la Biodiversidad*. Tesis de Doctor en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias de la UNAM. 103 pp.

Beard, J.S. 1955. The classification of tropical american vegetation types. *Ecology* 36: 89-100.

Bocco, G., J. L. Palacio y C. R. Valenzuela. 1991. Integración de la percepción remota y los sistemas de información geográfica. *Ciencia y desarrollo* 17(97): 79 – 88.

Bongers, F., J. Popma, J. Meave y J. Carabias. 1988. Structure and floristic composition of the lowland rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. *Vegetatio* 74: 55-80.

Bozada, L. y A. Chávez, Z. 1986. La fauna acuática de la Laguna de Ostión. Centro de Ecodesarrollo y Universidad Veracruzana, México D.F. 106 p.

Carabias, L.,J. 1979. Análisis de la Vegetación de la Selva Alta Perennifolia y Comunidades Derivadas de Ésta en una Zona Cálido Húmeda de México, Los Tuxtlas, Veracruz. Tesis (Biologa)Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 68 p.

Ceballos, G., y D. Navarro. 1991. "Diversity and conservation of Mexican mammals" en: Mares, M. A. y D. J. Schmidly (eds.) *Topics in Latin American Mammalogy: History, biodiversity and education*. University of Oklahoma Press, Norman: 167 – 198.

Cervigni, R. y F. Ramírez (Coords.). 1996. *Desarrollo Sustentable y Conservación de la Biodiversidad: un estudio de caso en la Sierra de Santa Marta, Veracruz, México*. Estudio elaborado por PSSM, GEF y CIMMyT. Mecanoescrito. México: 724 págs.

Cervigni, R. 1998. *Land use, national development and global welfare: the economics of biodiversity's conservation and sustainable use*. Thesis Ph. D. University Collage London. Pags. 371.

Cházaro, B.M. 1986. La Vegetación. Colección Medio Ambiente en Coatzacoalcos, Volumen VI. Centro de Ecodesarrollo/ Universidad Veracruzana. México D.F. 97 p.

Colín, X. Primer estudio de caso: Historia de la colonización agropecuaria de las vertientes orientales de la Sierra de los Tuxtlas. Análisis y diagnóstico de los sistemas agrarios pasados y actuales, Veracruz (México). En: Tallet, Bernad (ed.) 2005. *Historias de Hombres y Tierras en el Sotavento Veracruzano* (Versión en español). CD producido por IRD-Ciesas. Págs. 46-91.

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.

Díaz-Mondragón, S. 1997. *Análisis multitemporal de un sistema lagunar costero a través de percepción remota y sistemas de información geográfica*. Tesis, Escuela Nacional de Estudios Profesionales, Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México, México

Dirzo, R. 1991. Rescate y restauración ecológica de la selva de los Tuxtlas. *Ciencia y Desarrollo* XVII: 33-45.

Dirzo, R. 1992. Diversidad florística y estado de conservación de las selvas tropicales de México. En: J. Sarukhán y R. Dirzo (eds.) México ante los retos de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. pp. 283-290.

Dirzo, R. y García, M. C. 1992. Rates of Deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical Area in the Southeast México. *Conservation Biology* 6(1): 84-90.

Dirzo, R. y A. Miranda. 1991. El límite boreal de la selva tropical húmeda en el continente americano: contracción de la vegetación y solución de una controversia. *Interciencia* 16: 240-247.

Durand, M. L. 2000. *La colonización en la sierra de Santa Marta. Perspectivas ambientales y deforestación en una región de Veracruz*. Tesis de Doctorado en Antropología. Inst. Inv. Antrop.-UNAM. 199 pp.

Fjeldsa, J., D. Ehrlich, E. Lambin y E. Prins. 1997. Are biodiversity "hotspots" correlated with current ecoclimatic stability? A pilot study using the NOAA-AVHRR remote sensing data. *Biodiversity and conservation*. 6: 401 – 422.

Flores, J.S. 1971. Estudio de la vegetación del cerro "El Vigía" de la Estación de Biología Tropical "Los Tuxtlas", Veracruz. Tesis Profesional (Biólogo), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 66 p.

García, M. C. 1988. Landscape Ecological Approach for Forest Conservation. A case study in Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Enschede, Netherlands. Págs. 147

García, M. C. y R. Álvarez. 1994. TM digital processing of a tropical forest region in southeastern Mexico. *Int. J. Remote sensing* 15(8): 1611 – 1632.

González S.E., Dirzo, R. y Vogt, C.R. (eds.) Historia Natural de Los Tuxtlas. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F.

Guevara, S., J. Laborde, y G. Sánchez-Ríos. *Los Tuxtlas. El paisaje de la sierra*. Instituto de Ecología, A.C. y Unión Europea. Xalapa, Ver., 288 pp.

Gutiérrez-Carbajal, L. 1983. Los factores del medio ambiente físico y la vegetación de los alrededores de la Laguna de Ostión (Municipio de Pajapan, Veracruz). Tesis (Bióloga). Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 49 p.

- Holdridge, R.L. 1967. *Ecología Basada en Zonas de Vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 216 pp.
- Jones, P.G., S.E. Beebe, J. Tohme y N.W. Galwey. 1997. The use of geographical information systems in biodiversity exploration and conservation. *Biodiversity and Conservation*. 6: 947 – 958.
- Léonard, E. y E. Velásquez (coords.). 2000. *El Sotavento veracruzano. Procesos sociales y dinámicas territoriales*. CIESAS. México: 183 pp.
- Loker, W.M., S.E. Carter, P.G. Jones y D.M. Robison. 1993. Identification of areas of land degradation in the Peruvian amazon using a geographic information system. *Interciencia* 18(3): 133 – 141.
- Massera, O. 1996. *Desforestación y degradación forestal en México*. Documentos de trabajo, N° 19. GIRA, A.C. Pátzcuaro, Michoacán.
- Masera, O.R, M.J. Ordoñez y R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from mexican forests: current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35: 265 – 295.
- Mendoza, R.E. 1997. *Análisis de la deforestación de la Selva Lacandona: patrones, magnitud y consecuencias*. Tesis Biólogo. Facultad de Ciencias, UNAM, 98 p.
- Mendoza, E. y R. Dirzo. 1999. Deforestation in Lacandonia (southeast México): evidence for the declaration of the northernmost tropical hot-spot. *Biodiversity and Conservation* 8: 1621-1641.
- Murali, K.S. y R. Hedge. 1997. Patterns of tropical deforestation. *Journal of Tropical Forest Science* 9(4): 465 – 476.
- Nacimiento, J. R. 1991. Discutiendo numeros do desmatamento. *INTERCIENCIA* 16 (5): 232-239.
- Ochoa, G.S. 1999. *El proceso de fragmentación de los bosques en los Altos de Chiapas y su efecto sobre la diversidad florística*. Tesis Doctoral en Ciencias (Biología). División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Ochoa-Gaona, S. Y M. González-Espinosa. 2000. Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, México. *Applied Geography* 20: 17-42.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2000. *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, Veracruz* (Versión Final en Revisión). CONANP – SEMARNAP. Mecanoescrito. 114 págs.
- Ramírez R. F. 1999. Flora y vegetación de la Sierra de Santa Marta, Veracruz. Tesis Biólogo. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 409 p.
- Rodríguez-Bejarano, D. 1991. Análisis digital del cambio de uso/cobertura del suelo: la zona fronteriza Guatemala/México. *INERCIENCIA* 16 (6): 329-332
- Ruiz, J. y L. Durand. 2004. "La Estación Biología Tropical 'Los Tuxtlas' (Veracruz, México): ¿Conviene una Actitud Perservacionista?" Ponencia presentada en *The Commons in an Age*

of *Global Transition: Challenges, Risks and Opportunities*, the Tenth Conference of the International Association for the Study of Common Property, Oaxaca, Mexico, August 9-13.

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

Sader, S.A., T.A. Stone y A.T. Joyce. 1990. Deforestation Rates and Trends in Costa Rica, 1940 to 1983. *BIOTROPICA* 20 (1):11-19.

Segundo, A., P. Macario, R. de Alba y H. S. Cortina. Cambios en la Vegetación y Uso del suelo en el sur de la Laguna de Bacalar, Quintana Roo. *RMC*, 6 (1998), 164-192.

Toledo, V. M. 1988. La diversidad biológica de México. *Ciencia y Desarrollo*. 14(81): 17 – 30.

Thiebaut, V. Segundo estudio de caso: Estudio analítico de los sistemas de producción en la pequeña región de Santiago Tuxtla (Veracruz). En: Tallet, B. (ed.) 2005. *Historias de Hombres y Tierras en el Sotavento Veracruzano* (Versión en español). CD producido por IRD-Ciesas. Págs. 92-148.

Toledo, V. M. 1994. La diversidad biológica de México: nuevos retos para la investigación en los noventas. *Ciencias* 43: 43 – 59.

Trejo, I. y R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation* 94: 133-142.

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

Velasco, T. B.P. y H.M. Cruz R., 2005 Uso del Suelo y Vegetación Actualizado de las Tres Eco-regiones Prioritarias con Base en Imágenes de Satélite Landsat y SPOT. CONANP-PNUD Informe Final. Fase II. Julio 2005. 110 p.

Velasco, T. B.P. 2007 Uso del Suelo y Vegetación Actualizado de la Eco-región Prioritaria Los Tuxtlas, Veracruz en base a imágenes de satélite SPOT año 2004 y 2005. CONANP-PNUD Informe Final, mayo 2007- 43 p.

Velasco, T. B.P. 2009 Uso del Suelo y Vegetación Actualizado de las Tres Eco-regiones Prioritarias con Base en Imágenes de Satélite SPOT 2006-2007. CONANP-PNUD Informe Final, junio de 2009, 45 p.

Viña, A. y J. Cavalier. 1999. Deforestation Rates (1938-1988) of Tropical Lowland Forest on the Andean Foothills of Colombia. *BIOTROPICA* 31 (1): 31-36.