

Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000)

Verónica Guerra Martínez*
Susana Ochoa Gaona**

Recibido: 8 de junio de 2004
Aceptado en versión final: 23 de noviembre de 2005

Resumen. Se identificó y cuantificó la variación espacial de los tipos de vegetación y usos del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco durante 1990 y 2000. Se generaron bases geográficas digitales referentes a geología, edafología, hidrología, temperaturas mínimas, temperaturas máximas, precipitación, vías de comunicación y localidades. La información fue almacenada en un sistema de información geográfica. Se clasificaron escenas del satélite Landsat MSS –de 1992– y Landsat ETM –del 2000. Se generaron mapas de vegetación y uso del suelo para 1990 y 2000 basados en puntos de verificación. Los mapas generados fueron sobrepuestos para obtener un mapa de cambios y una matriz de variación. Las tasas de cambio por pérdida anual se estimaron en 6.06% (selva de púcté) y 34.96% (selva de tinto); en tanto que la tasa de incremento anual fue de 1.15% (manglar), 0.72% (comunidades de hidrófitas) y 27.82% (pastizal). Los cambios encontrados se relacionaron con la presencia de carreteras pavimentadas, localidades y canales, siendo éstos últimos los que más afectaron. Los resultados muestran que las comunidades de hidrófitas, pastizales y cuerpos de agua se desplazaron a todas las unidades de suelo y geología. Los cambios encontrados pueden atribuirse a diversas causas: los incendios, apertura de vías de comunicación, actividades petroleras, sobreexplotación de recursos, expansión ganadera, tala para extracción de madera y quema intencional para captura de especies.

Palabras clave: Sistemas de información geográfica (SIG), percepción remota (PR), Landsat, humedales.

Forest and land use assessment from 1990 to the year 2000 in Pantanos de Centla Biosphere Reserve, Tabasco, Mexico

Abstract. We use GIS to determine changes and variation in the distribution of various vegetation types and land use from 1990 to 2000 in Centla's Marshes Biosphere Reserve, in Tabasco, Mexico. Maps of geology, soils, hidrology, temperature, rain, human settlements and roads were created for the area in order to see the influence of the environmental conditions that could affect vegetation.

*Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Carretera a Nogales esq. Periférico Pte. s/n, Col. San Juan de Ocotán, C.P. 45019, Zapopan, Jalisco. E-mail: vguerra@conafor.gob.mx; evelgmar@hotmail.com

**ECOSUR, El Colegio de la Frontera Sur-Villahermosa, Carlos Pellicer Cámara # 119, Col. José Ma. Pino Suárez, 86168, Villahermosa, Tabasco. E-mail: sochoa@vhs.ecosur.mx

The LANDSAT MSS images for 1992 and for the year 2000 Landsat ETM images were used and classified using Chuvieco's Mixed Classification Method (1995). Vegetation and land use maps were generated for the year 1990 and 2000 using verification field points. The GIS analysis generated a change map and variation matrix. The tropical forest was the most affected ecosystem by diminishing considerably its surface. The change rate for the tropical forest in association of *Bucida buceras* represent 6.6% and for tropical forest association of *Haematoxylon campechianum* there was a 34.96% change rate. The change rate for mangrove was 1.15%, 0.72% for swamp communities and 27.82% for grassland. The analysis indicates that the change rate is mostly associated with the presence of roads, human settlements and channels mostly. The swamp communities, grasslands and water changed its distribution from they're original soils and geology units.

The fires registered each year and specially those that occurred in 1998, road building, petroleum extraction, overuse of natural resources, presence of cattle, wood consumption and the use of fire for hunting are some of the causes for the loss of tropical rain forest and the increased establishment of swamp communities.

Key words: Geographic information systems (GIS), remote sensing (RS), Landsat, wetlands.

INTRODUCCIÓN

Los ambientes acuáticos, semiacuáticos y costeros forman parte de la riqueza biológica y ecológica de nuestro planeta y son importantes zonas de productividad. Dentro de estos ambientes se encuentran las zonas de humedales.

Los humedales son sistemas naturales definidos por la Convención RAMSAR en 1993 como extensiones de marismas, pantanos o superficies cubiertas de agua, de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces o saladas. La característica que los humedales comparten es que el sustrato está periódicamente saturado o cubierto con agua y la saturación es el factor que determina la naturaleza del desarrollo del suelo y del tipo de comunidades de plantas y animales que habitan (DUMAC, 2000).

Los humedales son importantes económica, biológica, ambiental y culturalmente (Cowardin en De la Lanza, 1999) debido a la diversidad de especies animales y vegetales, raras, en peligro de extinción o endémicas que se encuentran en ellos. Las funciones que desempeñan son numerosas, pudiendo mencionarse: *a)* el abastecimiento de agua, para consumo humano, la agricultura, cría de animales y uso industrial; *b)* la recarga para el manto freático y descarga de aguas subterráneas, al infiltrarse la lluvia en el suelo, se forman aguas

subterráneas que salen a la superficie a través de manantiales costeros; *c)* la protección y mitigación de tormentas; *d)* el control y riesgo de inundaciones, la vegetación permite que el agua de la superficie se escurra más lento y se distribuya por el humedal; *e)* la retención de carbono, sedimentos y nutrientes; los restos de plantas y animales se almacenan creando una fuente de materia orgánica que sirve de alimento a varias especies; *f)* funcionan como receptores de desperdicios y actúan limpiando aguas contaminadas; *g)* el control de la erosión debido a que las raíces de la vegetación impiden que vientos se lleven las arenas o tierras; *h)* son el sitio de anidación y reproducción de muchas especies terrestres y acuáticas. Organismos marinos que sirven de alimento para el ser humano dependen de los humedales para cumplir parte de su ciclo biológico; *i)* la recreación y el turismo, pueden desarrollarse actividades como la pesca, observación de aves, fotografía de la naturaleza, natación y navegación en veleros (De la Lanza, 1999; ECOYUC, 2002).

De acuerdo con Abarca y Cervantes (De la Lanza, 1999) de los 557 millones de hectáreas de humedales a nivel mundial, la mitad están en Norteamérica. En México los humedales ocupan una superficie aproximada de 167 millones de hectáreas y se encuentran en Sinaloa, la península de Yucatán, en los desiertos de Baja California, Sonora y

Chihuahua y en los Pantanos de Centla, Tabasco (Cervantes, 1999).

Los Pantanos de Centla (Figura 1) han sido considerados como áreas poco alteradas. Forman parte de los ríos Grijalva y Usumacinta (los más caudalosos de México) que constituyen la red hidrológica más compleja de pantanos, canales, ríos y zonas de inundación de Mesoamérica aportando 71 694 millones de m³ de agua al año (Lum, 1999). A partir de 1995 los Pantanos de Centla fueron considerados dentro de los humedales de importancia internacional por parte de la Convención Ramsar (RAMSAR, 2000) y de acuerdo con el Programa de Áreas Naturales Protegidas 1995-2000, el Instituto Nacional de Ecología en México los designó dentro de 37 áreas naturales protegidas prioritarias para la conservación (INE, 2000).

En la Reserva se han identificado 569 especies vegetales pertenecientes a 118 familias y se tiene registro de 255 especies de aves, 104 de mamíferos (Figura 2), 68 de reptiles, 52 de peces y 27 de anfibios. Hasta 1993 se tenían identificadas 76 especies vegetales con algún uso por el ser humano y se reportaron 133 especies animales con algún grado de vulnerabilidad (INE-SEMARNAP, 2000).

Los Pantanos de Centla, al igual que muchas áreas de nuestro país, presentan una problemática particular ocasionada princi-

palmente por la expansión de la frontera agrícola. Las quemas intencionales para provocar el cambio de uso de suelo y para la captura de especies utilizadas en la venta ilegal son actividades que ponen en peligro el equilibrio de la Reserva (Figura 3; Aranda, 1999).

Las actividades petroleras de exploración y explotación por parte de PEMEX a partir de 1951, representan una amenaza para la conservación de la Reserva. Hasta 1997 se reportó la existencia de 55 campos petroleros con 295 pozos, cinco estaciones de recolección, 150 líneas de descarga de pozos y cinco ductos principales. Se ha reconocido que las consecuencias de estas actividades son de alto impacto, debido a la contaminación de cuerpos de agua y la degradación de la vegetación y del suelo, pero son casi nulos los trabajos publicados que han evaluado los efectos (INE-SEMARNAP, 2000).

La problemática de la Reserva Pantanos de Centla hace necesario realizar investigaciones para conocer mejor el sistema y generar información que complemente o ayude a mejorar el plan de manejo ya elaborado (*Ibid.*). La realización de estudios de monitoreo espacial de recursos mediante la integración de herramientas como los sistemas de información geográfica (SIG) y percepción remota (PR) es de gran utilidad, ya que permitiría contar con información acerca de la dinámica de



Figura 1. Vista aérea de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (Foto: Verónica Guerra).



Figura 2. Presencia de mono aullador en la Reserva Pantanos de Centla (Foto: Verónica Guerra).



Figura 3. Zona afectada por un incendio en los Pantanos de Centla (Foto: Verónica Guerra).

cambios de los tipos de vegetación y uso de suelo. Debido a lo anterior, se llevó a cabo la realización de este trabajo con objeto de identificar y cuantificar los tipos de vegetación y usos de suelo existentes en la Reserva Pantanos de Centla y determinar los cambios de cubierta vegetal ocurridos de 1990 a 2000.

ÁREA EN ESTUDIO

La Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla se localiza en el delta de los ríos Grijalva-Usumacinta, al norte del estado de Tabasco entre las coordenadas $17^{\circ}57'53''$ y $18^{\circ}39'03''$ de latitud norte y los $92^{\circ}06'39''$ y $92^{\circ}47'58''$ de longitud oeste (*Ibid.*; Figura 4). Limita al norte con el Golfo de México en la desembocadura del río San Pedro y San Pablo y con la ciudad de Frontera; al este con el estado de Campeche; al sur con el río Bitzal y al oeste con el arroyo Las Porfias y la carretera Villahermosa-Ciudad del Carmen (Romero *et al.*, 2000). Se encuentra dentro de los municipios de Centla, Jonuta y Macuspana. Comprende una superficie aproximada de 302 706 ha. La longitud de los ríos en la Reserva es de 463 km, con 110 cuerpos de agua dulce temporales y permanentes y adicionalmente cuerpos de agua salobre (González *et al.*, 2000). Por decreto federal la Reserva se divide en dos zonas núcleo y una zona de amortiguamiento.

La zona núcleo I, al sur del área, ocupa una superficie de 57 738 ha. La zona núcleo II, al norte del área, comprende una superficie de 75 857 ha. El resto del territorio está ocupado por la zona de amortiguamiento con una superficie de 169 111 ha (Figura 4; INE-SEMARNAP, 2000).

En la Reserva han sido reconocidas diversas comunidades vegetales en su mayoría acuáticas y subacuáticas siendo las principales las de hidrófitas (emergentes, flotantes, sumergidas; Figura 5); la selva mediana subperennifolia de púcté; la selva baja subperennifolia de tinto; el manglar; el matorral de *Dalbergia brownii* (mucal); el palmar de *Acoelorrhaphe wrightii* (tasistal); el palmar de *Sabal mexicana* (guanál); la vegetación riparia y los cultivos y potreros (*Ibid.*).

MÉTODOS

Los límites geográficos del área se establecieron mediante la consulta del Decreto de Ley de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla publicado en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF) el 6 de agosto de 1992.

La información de los vértices que limitan la Reserva se capturó en una base de datos, procesada en Arc Info para construir los polígonos digitales. Las bases de información geográfica incluyeron variables que pueden influir en la distribución de la vegetación. Fueron digitalizadas las cartas de topografía, unidades edafológicas, unidades geológicas, hidrología, vías de comunicación, localidades y efectos climáticos en escala 1:250 000 utilizando Carta Linx y la información fue almacenada en un SIG.

Se utilizaron tres escenas del satélite LANDSAT-MSS, dos de abril de 1992 y una de agosto de 1992 a una resolución de 60 m. Del satélite LANDSAT-ETM se utilizaron dos escenas, una de abril y otra de enero del 2000 con una resolución de 30 m. Las actividades de procesamiento de las imágenes de satélite se llevaron a cabo utilizando IDRISI 32 (Eastman, 1992).

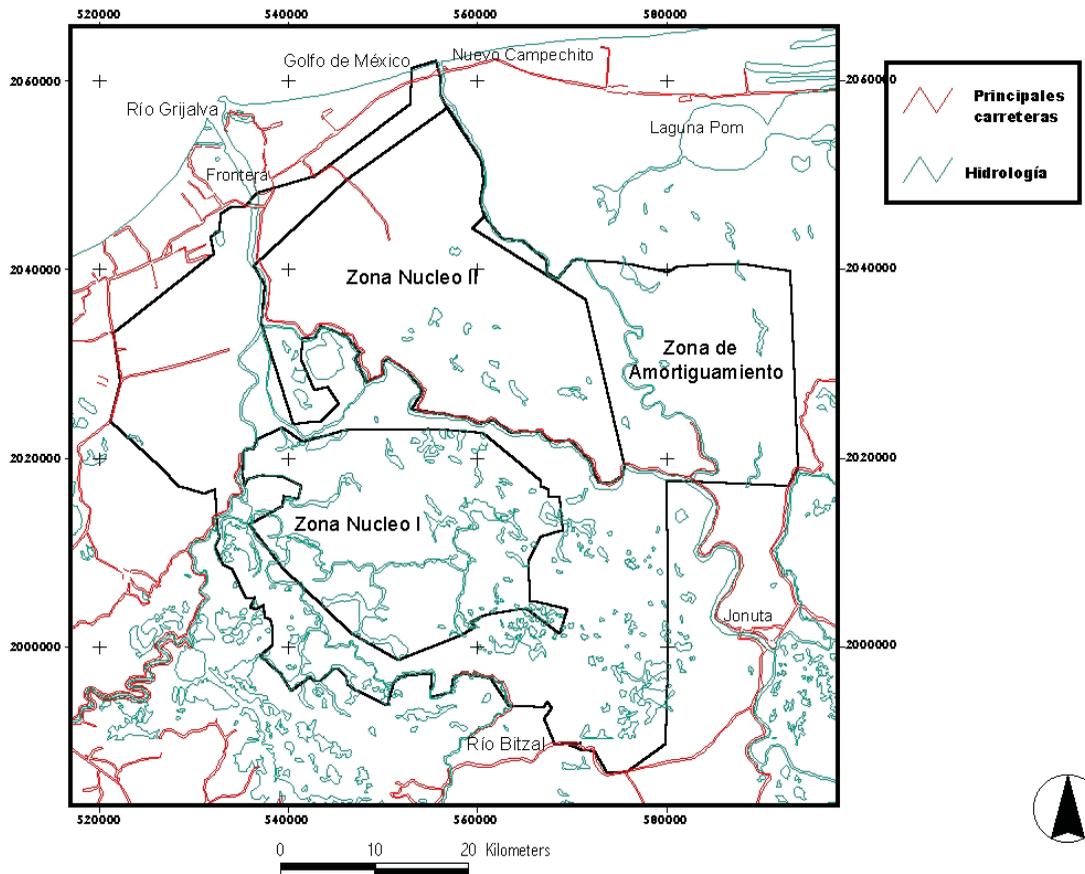


Figura 4. Área en estudio.

Las escenas fueron rectificadas geoméricamente, utilizando el mapa topográfico digitalizado. Se aplicó una función de transformación utilizando un ajuste cuadrático de segundo grado mediante el vecino más cercano (*Ibid.*). Una vez terminado este proceso se hizo el corte correspondiente al área en estudio en cada escena, obteniendo cinco cortes (tres para 1990 y dos para el 2000). Las escenas fueron unidas al concluir el proceso de clasificación de las imágenes.

Se realizaron pruebas de compuestos en color con las escenas y con cada una de las bandas disponibles seleccionando aquellas en las que se obtuvo mejor reconocimiento de los tipos de vegetación. Para el 2000 se seleccionó la

combinación 345 y para 1990 la combinación 342. Estas imágenes fueron utilizadas en la clasificación digital (Jensen, 1996) realizada mediante el método de clasificación mixto propuesto por Chuvieco (1995). La primera clasificación de la vegetación obtenida fue verificada en campo y se hicieron las anotaciones correspondientes para posteriormente realizar las correcciones o ajustes necesarios en el software mediante interpretación visual de acuerdo con la experiencia en la zona.

Para obtener la información de campo se efectuaron cinco visitas al área en estudio comprendidas entre febrero-abril y julio-agosto del 2002. En los recorridos se identificaron y delimitaron el mayor número y variedad posible



Fig. 5 Vista aérea de las comunidades de hidrófilas en la Reserva de Centla (Foto: Verónica Guerra).

de puntos de verificación. En cada visita se utilizaron las escenas clasificadas para su corroboración o corrección de las clases de vegetación reconocidas. Debido a las condiciones de acceso limitado dentro de la Reserva, se registraron 400 puntos de muestreo distribuidos a través de los ríos y lagunas identificando el tipo de vegetación o uso del suelo. Se realizó un recorrido en helicóptero en julio del 2002 para caracterizar las comunidades vegetales en áreas de difícil acceso, principalmente en

la zona de amortiguamiento. Se contó con 250 puntos de verificación proporcionados por otros investigadores, que sirvieron para apoyar la verificación de 1990. Las imágenes clasificadas fueron verificadas también con la ayuda de expertos en la zona en estudio.

La clasificación de la vegetación se basó en los trabajos realizados por varios autores (Cuadro 1). Se realizó un agrupamiento de clases que se identificaron pertenecían a una sola. No fue posible separar las comunidades de matorral y palmar debido a la resolución utilizada y a que se encuentran en su mayoría mezcladas con los pastizales, por lo que quedaron agrupadas en estos últimos. En las comunidades de hidrófitas se agruparon las hidrófitas emergentes, flotantes y sumergidas. Obteniéndose las cartas de vegetación identificando seis clases (Cuadro 1).

A las escenas clasificadas (dos escenas del 2000 y tres de 1990) se les aplicó un proceso de concatenación automático. Obteniéndose dos mosaicos de información de tipos de vegetación y uso del suelo. Para hacer comparables los mosaicos se igualaron las

Cuadro 1. Nombres equivalentes utilizados para las clases de vegetación reconocidas en este trabajo y sus equivalentes con otros autores

Diversos autores ¹	INE-2000	En este estudio	Siglas
Selva mediana inundable de pucté	Selva mediana subperennifolia de <i>Bucida buceras</i>	Selva mediana subperennifolia de pucté	SMP
Selva baja inundable de tinto	Selva baja subperennifolia de <i>Haematoxylon campechianum</i>	Selva baja de tinto	SBT
Hidrófitas enraizadas emergentes	Hidrófitas emergentes	Comunidades de hidrófitas	CH
Hidrófitas enraizadas flotantes	Hidrófitas flotantes	Comunidades de hidrófitas	CH
Hidrófitas enraizadas sumergidas	Vegetación subacuática	Comunidades de hidrófitas	CH
Manglar	Manglar	Manglar	Mg
Cultivos y potreros	Cultivos y potreros	Pastizal	Pz
		Cuerpos de agua	Agua

¹López Maldonado (1993); Boushot (1995) y Novelo (com. pers.; en INE-SEMARNAP, 2000).

resoluciones aplicando un proceso de expansión al mosaico de 1990.

Para valorar la exactitud y confiabilidad de la clasificación se generó una matriz de confusión utilizando el Accuracy Assessment-ERRMAT.

La evaluación de los cambios se realizó por sobreposición de los mapas de 1990 y 2000 generando un mapa de cambios (Figura 6) y una matriz de variación.

Utilizando el programa Excel fueron cuantificadas las superficies ocupadas por cada clase, el número de fragmentos, el tamaño máximo de fragmentos en hectáreas y el tamaño mínimo de fragmentos en metros

–para una mayor claridad– durante 1990 y 2000 para la Reserva. Fue calculada la tasa de cambio con base en la siguiente fórmula (Dirzo y García, 1992):

$$r = 1 - [1 - (A_1 - A_2 / A_1)]^{1/T}$$

donde:

A₁ = área al inicio del período,

A₂ = área al final del período,

T = número de años en el período considerado.

Para evaluar el posible efecto de la presencia de carreteras pavimentadas y de terracería, localidades y canales sobre los cambios ocurridos, se utilizó el software Arc

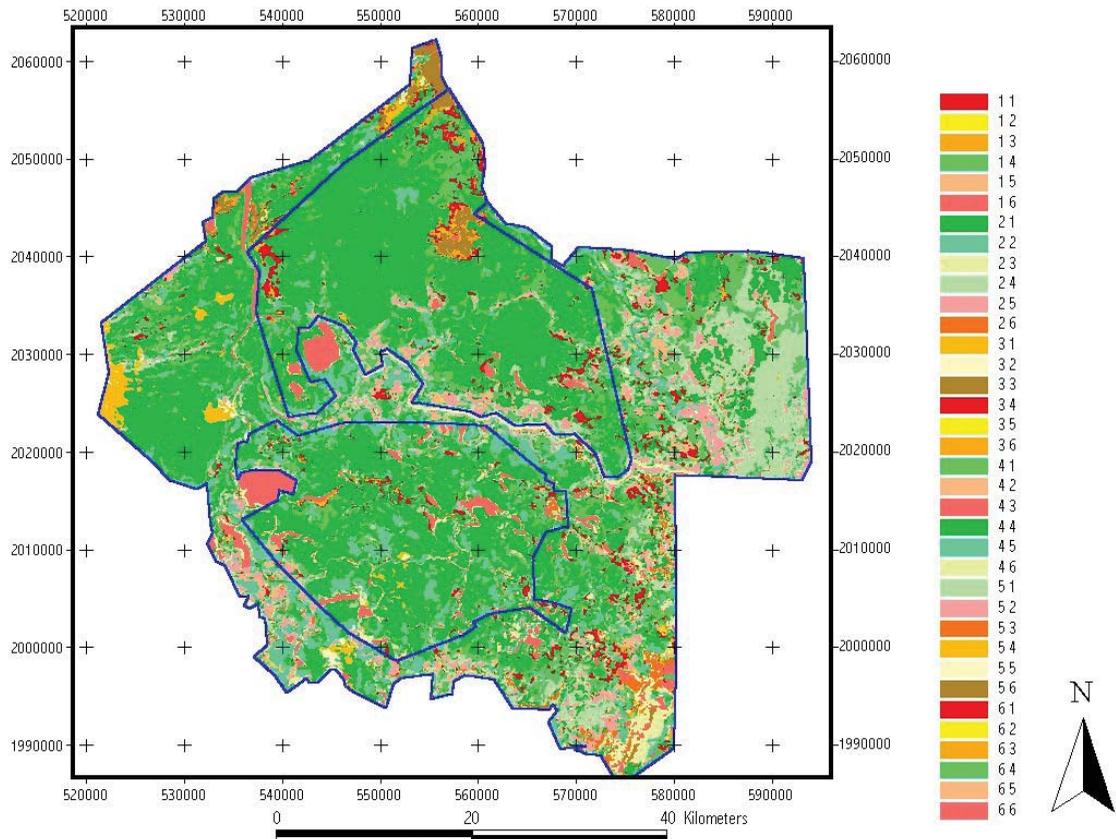


Figura 6. Mapa de cambios 1990-2000. Los números a la izquierda corresponden al número de clase de vegetación en 1990 y los de la derecha a la clase de vegetación en el 2000.

View. Se generaron áreas buffer para cada factor a una distancia arbitraria de 1 000 m. Estos mapas fueron sobrepuestos con el mapa de cambios ocurridos en 1990 y 2000 obteniendo mapas de superficie de vegetación relacionada con cada factor.

Con la finalidad de cuantificar las superficies de cada clase por unidad edafológica y geológica y tratar de evaluar un posible efecto se sobrepusieron separadamente los mapas de suelos y geología con los mapas de vegetación y uso del suelo de 1990 y del 2000.

RESULTADOS

El mapa de regionalización generado para la Reserva Pantanos de Centla mostró que la superficie de la Reserva es de 303 259 ha, encontrándose una diferencia de 553 ha de acuerdo con las 302 706 citadas en el DOF, 1992 (Cuadro 2). Esto puede explicarse a que esta última cifra es un dato aproximado y probablemente el método por el cual se calculó, es diferente del utilizado en este trabajo.

Vegetación y uso del suelo 1990-2000

Se generaron mapas de vegetación y uso del suelo para 1990 y al 2000 (Figura 7). Los resultados muestran que las selvas de púcté y de tinto disminuyeron su superficie: la selva de púcté disminuyó 8% respecto a la existente en 1990, los remanentes de selva de tinto disminuyeron casi al 100% en el 2000. El resto de las clases consideradas aumentaron, particularmente los pastizales (Cuadro 3).

La matriz de cambios generada indica la variación en hectáreas ocupadas para cada clase. Las columnas corresponden a los cambios de un hábitat a otro registrados en el 2000 y los renglones a los ocurridos en 1990 (Cuadro 4).

Los cambios más notables en la matriz son que casi 11 000 ha de selva de tinto y 6 600 ha de comunidades de hidrófitas fueron ocupadas por selva de púcté en el 2000. Casi 1 800 ha de selva de púcté corresponden en el 2000 a manglar y 256 a comunidades de hidrófitas a selva de tinto. Más de 30 000 ha de selva de púcté y 25 000 de selva de tinto fueron ocupadas por las comunidades de hidrófitas (Cuadro 4). La matriz indica que en todas las clases excepto el manglar la superficie ocupada de 1990 a 2000 cambió principalmente a comunidades de hidrófitas y pastizales (Cuadro 4).

Se encontró que el número de fragmentos disminuyó en la selva mediana de púcté, selva baja de tinto y las comunidades de hidrófitas. Las variaciones más notables son la pérdida de fragmentos de selva de tinto y el incremento del número de fragmentos de pastizales (Cuadro 5).

Verificación de los resultados

El mapa de uso del suelo y vegetación de 1990 cuenta con un error global del 11%. La matriz de confusión resultante (Cuadro 6) muestra porcentajes de fiabilidad altos, excepto en la selva mediana de púcté que tiene un nivel de imprecisión de 66%.

Cuadro 2. Base de datos del polígono de la Reserva Pantanos de Centla (área en hectáreas)

Zona	generada	DOF, 1992
Amortiguamiento	169 683	169 111
Núcleo I	57 737	57 738
Núcleo II	75 838	75 857
<i>Total</i>	303 259	302 706

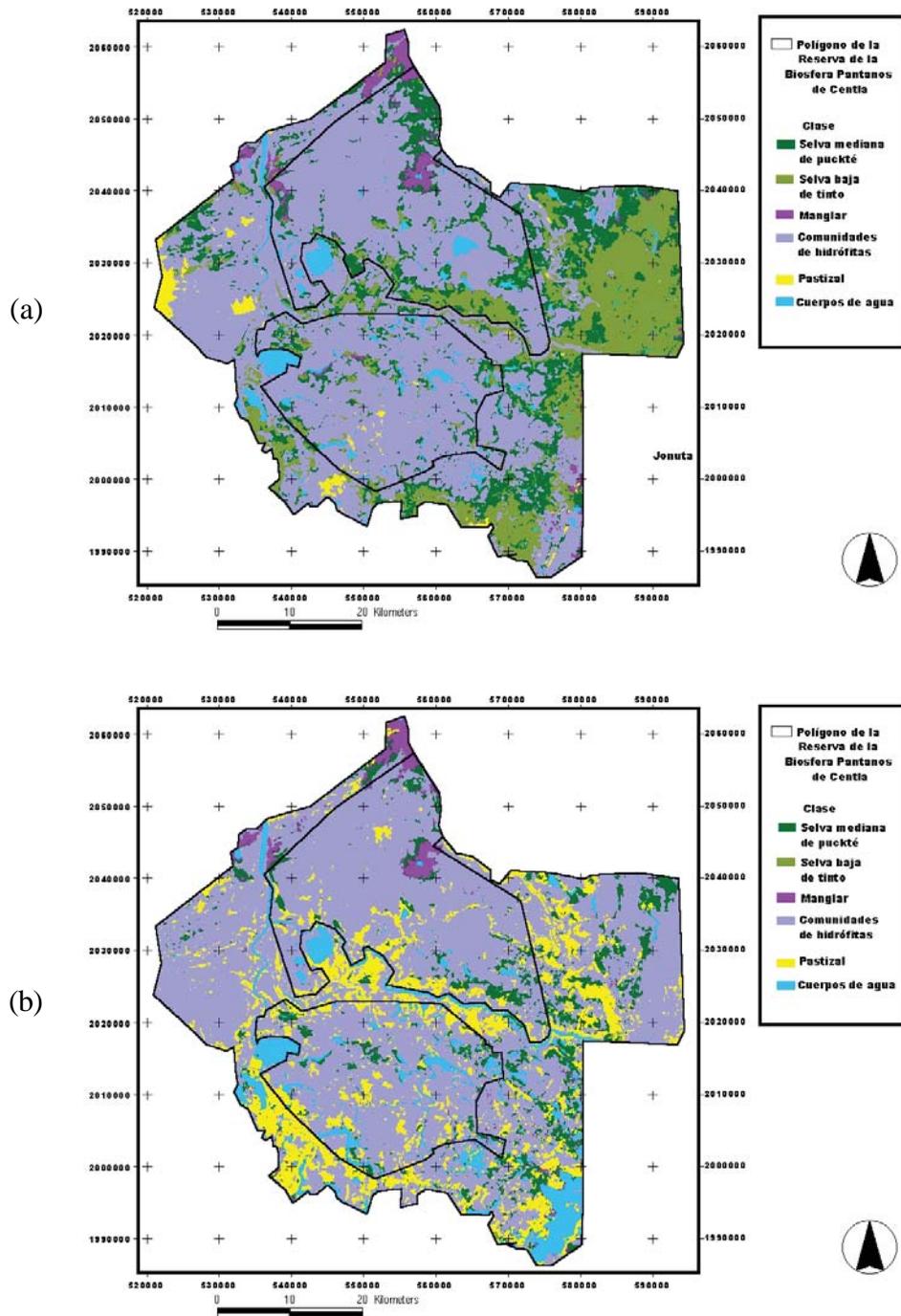


Figura 7. Mapa de vegetación y uso del suelo (a) 1990 y (b) 2000.

Cuadro 3. Superficie (ha) ocupada por los distintos usos de suelo y vegetación en 1990 y en 2000

Clase	1990		2000		TCA
	Ha	%	Ha	%	%
SMP	54 163	18	28 980	10	-6.06
SBT	54 350	18	736	0	-34.96
Mg	6 643	2	7 451	2	1.15
CH	171 158	56	183 932	61	0.72
Pz	5 007	2	58 266	19	27.82
Agua	11 937	4	23 895	8	7.19
Total	303 259	100	303 259	100	

%= al total de la superficie ocupada en el año respectivo; TCA=Tasa de cambio anual; SMP=selva mediana de pucté; SBT=selva baja de tinto; Mg=manglar; CH=comunidades de hidrófitas; Pz=pastizal; agua=cuerpos de agua. Números negativos significan pérdidas, positivos incremento.

Cuadro 4. Matriz de cambios de superficie de los hábitats de 1990-2000 (ha)

1990	2000						Total 1990
	SMP	SBT	Mg	CH	Pz	Agua	
SMP	9 770	94	1 790	30 086	10 864	1 560	54 163
SBT	10 995	371	799	25 235	15 010	1 940	54 350
Mg	1 348	2	3 167	1 486	286	354	6 643
CH	6 638	256	1 503	122 752	30 717	9 289	171 159
Pz	81	9	20	3 378	1 084	433	5 007
Agua	148	0	171	994	305	10 319	11 937
Total 2000	28 980	735	7 450	183 931	58 266	23 895	303 259

SMP=selva mediana de pucté; SBT=selva baja de tinto; Mg=manglar; CH=comunidades de hidrófitas; Pz=pastizal; agua=cuerpos de agua.

Cuadro 5. Análisis de algunos índices de fragmentación entre 1990 y 2000

Clase	núm. fragmentos		tamaño mínimo (m)		tamaño máximo (ha)	
	1990	2000	1990	2000	1990	2000
	SMP	6 371	4 103	627	667	2 451
SBT	4 253	245	628	661	12 683	32
Mg	952	2 324	904	674	983	983
CH	6 664	5 343	636	676	47 909	47 909
Pz	495	5 666	633	627	1 379	2 603
Agua	1 074	2 128	660	767	1 537	2 173

SMP=selva mediana de pucté; SBT=selva baja de tinto; Mg=manglar; CH=comunidades de hidrófitas; Pz=pastizal; agua=cuerpos de agua.

El error global para el mapa de uso del suelo correspondiente al 2000 cuenta con un error global de 3.7%. En este caso el manglar presentó el porcentaje de imprecisión más alto (45%), mientras que el resto de las categorías tienen porcentajes de fiabilidad de más de 70% (Cuadro 6). Es importante señalar que para la matriz del 2000 no se consideró la selva baja de tinto, debido a que prácticamente desapareció en la Reserva.

Cambios de vegetación y su posible relación con algunos factores

a) Carreteras pavimentadas

Una superficie de 20 516 ha de la Reserva estuvo relacionada con la presencia de carreteras y caminos. La selva baja de tinto fue la más afectada (8 859 ha), seguida de las comunidades de hidrófitas, la selva de púcté y el manglar (Cuadro 7).

Cuadro 6. Matriz de confusión de la clasificación (a) 1990 y (b) 2000

Clase Clasificación	Verdad en el terreno						Total	ErrorC
	SMP	SBT	Mg	CH	Pz	Agua		
SMP	1 033	0	109	0	5	0	1 147	0.0994
SBT	879	1 093	0	0	0	0	1 972	0.4457
Mg	1 024	0	882	0	0	0	1 906	0.5373
CH	109	0	252	1 311	0	47	1 719	0.2373
Pz	0	0	0	0	405	0	405	0.0000
Agua	0	0	0	5	0	13 446	13 451	0.0004
Total	3 045	1 093	1 243	1 316	410	13 510	20 617	
ErrorO	0.6608	0.0000	0.2904	0.0038	0.0122	0.0047		0.1187

(a)

Clase Clasificación	Verdad en el terreno					Total	ErrorC
	SMP	Mg	CH	Pz	Agua		
SMP	826	178	0	0	0	1 004	0.1773
Mg	0	418	0	0	0	418	0.0000
CH	128	167	21 130	3	0	21 428	0.0139
Pz	130	0	930	204	0	1 264	0.8386
Agua	0	0	0	0	17 132	17 132	0.0000
Total	1 084	763	22 060	207	17 132	41 246	
ErrorO	0.2380	0.4522	0.0422	0.0145	0.0000		0.0372

(b)

SMP=selva mediana de púcté; SBT=selva baja de tinto; Mg=manglar; CH=comunidades de hidrófitas; Pz=pastizal; agua=cuerpos de agua. Errores expresados como proporciones: ErrorO=Errores de omisión; ErrorC=Errores de comisión.

b) Canales

Los resultados muestran que de 61 768 ha estuvieron relacionadas con la presencia de canales en la Reserva, la selva de tinto fue la clase que presentó más cambios (23 336 ha). Las comunidades de hidrófitas y la selva de pucté tuvieron casi la misma superficie afectada (Cuadro 7).

c) Localidades

Las localidades al parecer afectaron casi 9 000 ha de superficie de la Reserva en el lapso de tiempo considerado. Se encontró que la clase más afectada fueron las comunidades de hidrófitas seguidas de la selva de tinto, selva de pucté y el manglar (Cuadro 7).

Cambios ocurridos en relación con los suelos de la Reserva

Se encontró que las selvas de pucté fueron desplazadas de todas las unidades de suelo y totalmente de los feozem; las selvas de tinto lo fueron considerablemente de los gleysol y regosol y por completo del feozem y solonchak. El manglar fue desplazado totalmente de los vertisol y se desplazó al gleysol y regosol. Las comunidades de hidrófitas y los pastizales se desplazaron a todas las unidades de suelo,

excepto en los vertisol; el mayor desplazamiento de pastizales fue a los feozem y solonchak, mientras que en las comunidades de hidrófitas fue a los feozem (Figura 8).

Cambios ocurridos en relación con la geología de la Reserva

Los resultados muestran que las selvas de pucté y las selvas de tinto fueron desplazadas de las cuatro unidades geológicas existentes en la Reserva; en la selva de pucté el mayor desplazamiento fue a la litoral y la lacustre, mientras que en la selva de tinto fue en la palustre y aluvial. El manglar se desplazó mayormente hacia la litoral y aluvial. Las comunidades de hidrófitas y los pastizales se desplazaron a todas las unidades geológicas; el mayor desplazamiento de los pastizales fue a la palustre y aluvial, mientras que en las comunidades de hidrófitas fue prácticamente igual en todas las unidades (Figura 9).

DISCUSIÓN

Los resultados encontrados muestran que únicamente las selvas presentaron una variación negativa en cuanto a superficie ocupada siendo la más afectada la selva de tinto. Una de las causas más devastadoras

Cuadro 7. Cambios ocurridos en relación con la presencia de carreteras pavimentadas, canales y localidades

Factor	Clase						
	SMP	SBT	Mg	CH	Pz	Agua	Total (ha)
Carreteras	4 581	8 859	431	5 429	1 014	202	20 516
Canales	17 275	23 337	1 090	18 637	647	782	61 768
Localidades	1 924	3 101	95	3 426	161	85	8 792

SMP=selva mediana de pucté; SBT=selva baja de tinto; Mg=manglar; CH=comunidades de hidrófitas; Pz=pastizal; agua=cuerpos de agua.

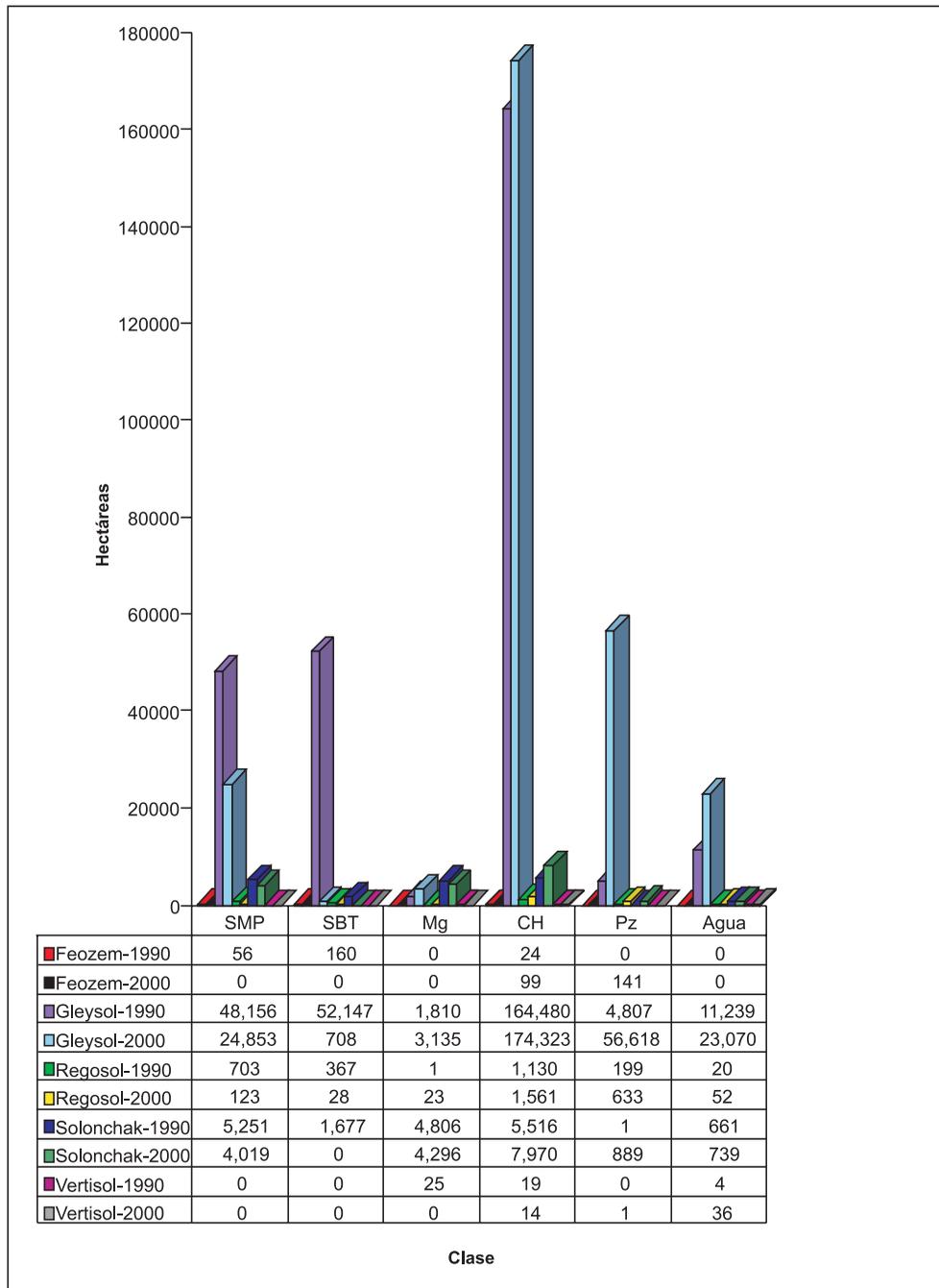


Figura 8. Cambios ocurridos en relación con los suelos de la Reserva.

SMP=selva mediana de púcté; SBT=selva baja de tinto; Mg=manglar; CH=comunidades de hidrófitas; Pz=pastizal; agua=cuerpos de agua.

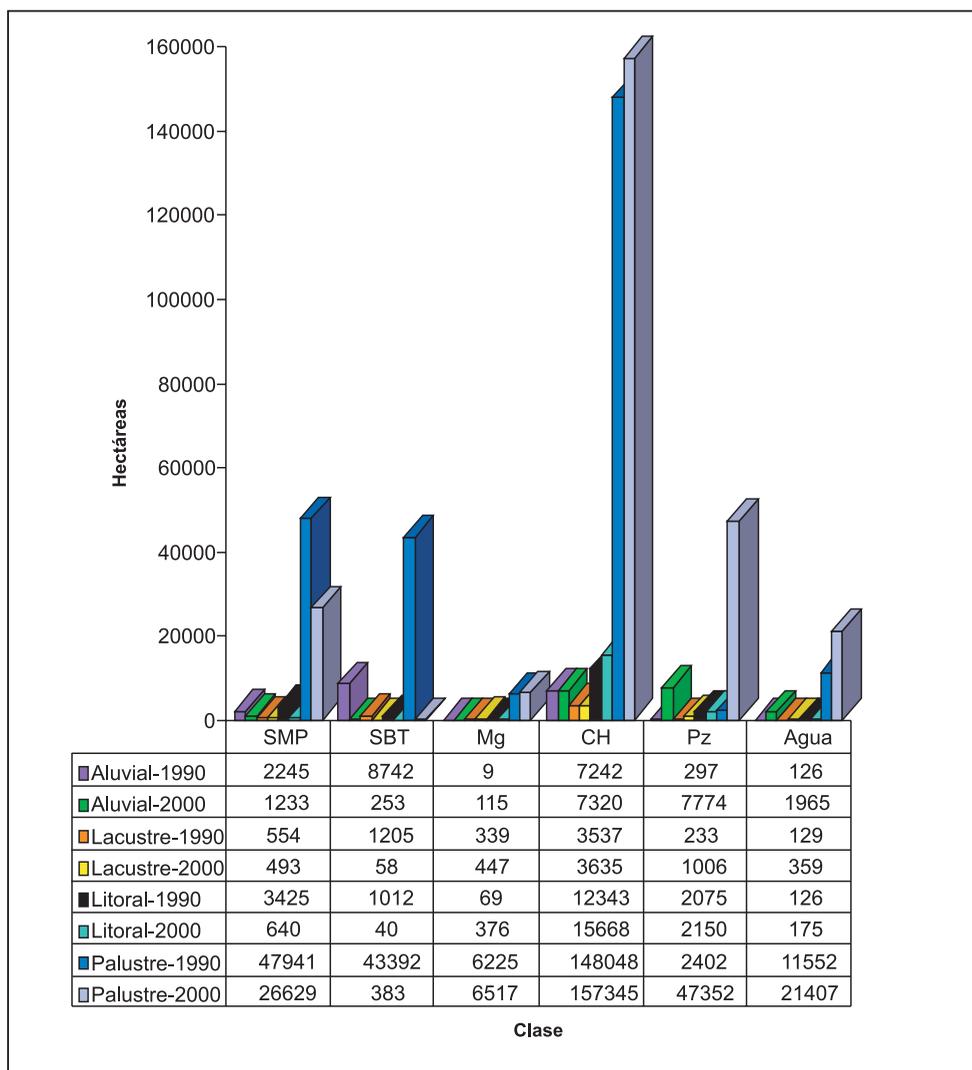


Figura 9. Cambios ocurridos en las diferentes clases geológicas de la Reserva.

SMP=selva mediana de pucté; SBT=selva baja de tinto; Mg=manglar; CH=comunidades de hidrófitas; Pz=pastizal; agua=cuerpos de agua.

por su magnitud es la pérdida de vegetación provocada por los incendios. De acuerdo con la SEMARNAT, en el estado de Tabasco se presentaron 139 incendios forestales de 1970-1998 los cuales afectaron una superficie de 41 202 ha (CESPEDES, 2003). En la Reserva Pantanos de Centla se quemaron tan solo en

1998 un total 4 000 ha (Aranda, 1999), de las cuales, 3 300 fueron de selva inundable. También las actividades realizadas por PEMEX dentro de la zona pueden explicar la pérdida de selvas encontrada debido a las alteraciones que pueden provocar.

Tasas de cambio

El Instituto de Geografía de la UNAM calculó para México que las tasas de cambio anual en selvas de 1976-2000 fue de -0.76 y de 1993-2000 de -2.06 (Velásquez *et al.*, 2002). Por otro lado, las tasas reportadas en el sur de los estados de Campeche y Quintana Roo de 1975-1985 fueron de -0.15, -0.27, respectivamente, y de 1985-1990 de -0.54 y 0.33 (Cortina *et al.*, 1998). Sorani y Álvarez encontraron para la Laguna de Términos en Campeche de 1980-1993 tasas de cambio de -6.4 (en Velásquez *et al.*, 2002). En la misma Laguna se estimó de 1974-1986 una tasa de -2.67 y de 1986-1991 de -2.79 (Francois, 1998).

Los resultados encontrados para la Reserva Pantanos de Centla en 1990-2000 muestran que la tasa de cambio fue de -34.96 (selva baja de tinto) y de -6.06 (selva mediana de pucté) siendo solo ésta última similar a lo reportado por Sorani y Álvarez, pero superiores a las tasas encontradas para el sur de Campeche, Quintana Roo y la Laguna de Términos. Esto indica la presión que se ha ejercido en las comunidades de selva en el estado de Tabasco.

Cambios ocurridos

Con el análisis de la matriz de cambios puede observarse qué áreas de selvas fueron ocupadas por pastizales, lo cual corrobora que la superficie de pastizal aumentó del 2 al 19%. No obstante el incremento de áreas de pastizal, en todas las categorías, excepto los cuerpos de agua, la mayoría de las superficies de cambio fueron reemplazadas por las comunidades de hidrófitas, superando incluso a los pastizales.

Los resultados de este trabajo indican que la superficie de cuerpos de agua se incrementó al doble, lo cual coincide en parte con los resultados de Enríquez (1998) quien observó un incremento en el tirante de agua de hasta 50 cm, sobre todo en la temporada de lluvias.

La ocupación de áreas de pastizal y comunidades de hidrófitas encontrada coincide con lo observado en las visitas de campo donde claramente se observan manchones de selva rodeados de grandes extensiones de potreros, de tular a la orilla de los canales o como individuos mezclados con la vegetación riparia. Esto indica que seguramente los sitios donde se encontraron fragmentos de selva eran áreas más grandes y como resultado del cambio de uso de suelo han sido desplazadas por otras comunidades.

Los cambios en superficie ocupada de selva de tinto a selva de pucté y de selva de pucté a manglar observados en la matriz de cambios pueden deberse, a que como se mencionó, estas clases pueden encontrarse mezcladas, así que posiblemente al ser afectadas las selvas de tinto y de pucté—debido a causas ya mencionadas— se permitió la expansión de selva de pucté y del manglar.

El cambio en superficie de comunidades de hidrófitas a selva de tinto pudiera parecer en primera instancia un poco raro por ser el tinto un árbol de crecimiento lento. Sin embargo, puede explicarse porque durante los períodos de inundación más altos, las comunidades de hidrófitas proliferan en la zona en estudio—lo encontrado en 1990— pero en otro lapso de tiempo las condiciones en época de secas limitan la presencia de las hidrófitas y permiten el crecimiento o expansión de otras comunidades; tampoco puede descartarse la posibilidad de que antes de 1990 árboles de tinto ya se encontraban en crecimiento—aunque se desconoce cuánto tiempo atrás— pero que pudieron identificarse diez años después.

Los cambios encontrados de cuerpos de agua a hidrófitas pueden explicarse primero porque las comunidades de hidrófitas se adaptan fácilmente a cualquier condición en la Reserva expandiendo la superficie que ocupan, pero también puede deberse a que algunas actividades llevadas a cabo para drenar el pantano pueden estar alterando la superfi-

cie de cuerpos de agua, favoreciendo la proliferación de hidrófitas.

Índices de fragmentación

La disminución considerable del número de fragmentos de selvas coincide con la pérdida de superficie encontrada. En el caso del manglar el número de fragmentos se incrementó, no obstante, se mantuvo la superficie, lo cual indica que este tipo de vegetación sufrió una fragmentación y si bien se perdieron algunas áreas, en otras se pudo extender el manglar y compensar la pérdida.

Los últimos reportes en abril del 2003 indican que tan solo en lo que va de la temporada de secas para el mismo año, se han quemado más de 800 ha de manglares, sibales y tulares (Ortiz, 2003). De acuerdo con la información existente, México está perdiendo su área de manglar a un ritmo que va de 8 al 20% anual (Red Manglar, 2000). Datos del Instituto de Geografía indican para la vegetación hidrófila –donde se incluyó el manglar– que de 1976-2000 la tasa de cambio anual fue de -0.59 y de 1993-2000 de -0.61 (Velázquez *et al.*, 2002). Por otra parte, en los humedales Laguna Grande-Agua Grande-Teacapán en Sinaloa se encontró que la cobertura de manglar permaneció prácticamente constante, con una tasa de pérdida de 45 ha/año (Berlanga y Ruiz, 1997). Para la Reserva Pantanos de Centla los resultados coinciden con lo registrado para los humedales en Sinaloa, debido a que la superficie de manglar se mantuvo y la tasa de cambio encontrada de 1990-2000 fue de 1.15, es decir, hubo un pequeño incremento.

Cambios relacionados con algunos factores

La superficie de la Reserva que presentó cambios y que se relacionó con algunos factores, indicó que la presencia de canales fue la que posiblemente tuvo el mayor impacto en los cambios encontrados. Los canales juegan un papel determinante en las alteraciones o modificaciones de los ambientes acuáticos de la

Reserva Pantanos de Centla; de hecho, todos los bordes de ríos y lagunas están llenos de canales de distinto ancho. En las visitas de campo se observó también que los bordes de ríos que tienen canales han sido habilitados como potreros. La apertura de canales se hace principalmente para drenar el pantano y para generar vías de acceso a otras comunidades vegetales que serán aprovechadas para uso comercial, ganadero o petrolero.

La presencia de carreteras pavimentadas y de terracería también pudo tener un efecto importante en los cambios encontrados, lo cual coincide con lo reportado por Cruz (2001); en este trabajo este factor ocupó un lugar intermedio entre los tres considerados. Respecto a la presencia de localidades se encontró que fue el factor que tuvo menor influencia sobre los cambios registrados. Esto puede sugerir que no es la presencia de localidades como tal lo que afecta sino las actividades que se realizan al establecerse las comunidades.

A pesar de que no fue posible obtener información georreferenciada de la presencia de pozos petroleros dentro de la reserva y poder analizar su impacto sobre los cambios ocurridos, por el número de 526 (INESEMARNAP, 2000), se puede decir que seguramente han sido también causa importante en las variaciones registradas.

Cambios encontrados en relación con la geología y suelos

El considerable incremento de las comunidades de hidrófitas pone de manifiesto la viabilidad de las hidrófitas para ocupar cualquier unidad de suelo y geología presentes en la superficie de la Reserva. El aumento de los pastizales en casi todas las unidades de suelo indica que los tipos de vegetación han sido reemplazados por áreas de pastizal de manera importante, coincidiendo con los cambios encontrados en superficie ocupada.

El incremento de los cuerpos de agua puede atribuirse inicialmente a factores de precipitación y períodos de inundación por estacionali-

dad pero, principalmente y como lo concluye Enríquez (1998), a las alteraciones provocadas por la retención de escurrimientos debido a la presencia de carreteras y terracerías, a la retención de agua e inundación permanente de algunas zonas ocasionada por actividades petroleras, así como a la instalación de pozos de extracción, ductos de conducción y drenes.

El tipo de suelo en el que hubo mayor desplazamiento de comunidades naturales a pastizales fue el feozem y el solonchak. Los feozem son suelos de fertilidad natural elevada y producen buenas cosechas, son utilizados para cultivos de maíz, trigo y avena. Los solonchak son suelos que se encuentran en terrazas aluviales y con contenido de sales elevado (FitzPatrick, 1984). Las características de los feozem sugieren entonces que el desplazamiento de los tipos de vegetación no es aleatorio sino que los suelos son seleccionados de acuerdo con la fertilidad y productividad obtenida; entonces estos suelos seguramente son utilizados para los cultivos en el área de la Reserva. Respecto a las características de los solonchak, indican que probablemente estos suelos son utilizados como potreros y no para los cultivos.

CONCLUSIONES

Tomando como base los resultados de este trabajo, se concluye que la variación por pérdida en los tipos de vegetación y uso del suelo en los Pantanos de Centla a partir del Decreto Federal en 1992, no se ha detenido. Únicamente el manglar ha mantenido la superficie ocupada. Estos cambios han afectado más a las selvas y han favorecido la expansión de las comunidades de hidrófitas que ocupan actualmente la mayor superficie de la Reserva.

Los cambios encontrados en los tipos de vegetación y uso del suelo en la Reserva han sido provocados por diversos factores, siendo la deforestación y los incendios forestales dos de las principales causas.

La superficie ocupada por selvas de tinto resultó ser la más afectada, esto se remonta a la sobreexplotación hecha del recurso desde la época colonial con las explotaciones forestales para ser exportadas a Europa. El tinto ha sido utilizado en Tabasco y Campeche para la obtención de maderas preciosas, ebanistería fina y la extracción de una sustancia para teñir de color rojo. Por parte de los habitantes como leña, construcción de viviendas y para cercar potreros.

Los canales juegan un papel determinante en las alteraciones o modificaciones de los ambientes acuáticos de la Reserva Pantanos de Centla. Esto se constata debido a que puede observarse que todos los bordes de ríos y lagunas están llenos de canales de distinto ancho.

La problemática de la Reserva involucra directamente a la población existente, por lo cual las soluciones y estrategias de manejo deben ser dirigidas estableciendo el vínculo social con el de conservación.

La realización de trabajos de este tipo en otras áreas naturales sería de gran valor en las propuestas de manejo, pero también es importante trabajar en colaboración con la comunidad debido a que en muchas ocasiones los pobladores tienen conocimientos que son ignorados por los investigadores.

Los patrones de reflectancia prácticamente iguales entre la selva mediana de púcté y el manglar hicieron difícil separar estas clases y de hecho en campo se encuentran mezcladas, ya que presentan los porcentajes de fiabilidad más bajos, así como los niveles de imprecisión más altos respecto al resto de las clases consideradas.

A pesar de que la clasificación de imágenes de satélite para identificar tipos de vegetación de una zona en particular depende de varios factores como la identificación hecha por el intérprete, los métodos utilizados, la escala de trabajo y las variaciones climáticas entre otros, los resultados encontrados en este trabajo son indicativos de una buena aproxi-

mación con la realidad y representan un avance en la aportación de conocimientos acerca de la problemática que enfrenta esta área natural protegida.

La combinación de elementos de la PR y la incorporación de la información obtenida a un SIG, permite el análisis espacial debido a que hizo posible detectar las zonas que han sido más afectadas y las comunidades vegetales más impactadas en el lapso considerado, y permite visualizar cuáles pueden ser las posibles tendencias de cambio en los Pantanos de Centla.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de la Reserva Pantanos de Centla, al Inventario Nacional Forestal, al Instituto de Geografía, al Dr. Alejandro Novelo, al Biól. Gilberto Hernández, al Biól. Juan Carlos Romero, al Ing. Paulo H. Pérez, al M. en C. Luis Amado Ayala y a la Dra. Concepción Rodríguez.

REFERENCIAS

Aranda, R. (1999), "Instalaciones petroleras están inmersas en Pantanos de Centla, el ecosistema más rico y diverso del planeta", *La Crónica Hoy*, Suplemento de abril, México.

Berlanga, R. C. y L. A. Ruiz (1997), "Variaciones en el paisaje del sistema de humedales Laguna Grande, Agua Grande, Teacapán, Sinaloa", [<http://www.selper.uabc.mx/Publicacio/cong97/te2.doc>].

Bolio, A.M. (2001), *Estructura y productividad durante la época de lluvias en un manglar mixto, en el estero de sábalo del río San Pedro y San Pablo, municipio de Centla, Tabasco*, UJAT, México.

Cervantes, M. (1999), "Los humedales: una perspectiva nacional", [<http://www.laneta.apc.org/emis/jornada/abril/index.html>: abril 1999].

CEPESDES (2003), "Incendios y deforestación en México", [www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/deforestacion/cap_4.htm].

Chuvieco, E. (1995), *Fundamentos de Teledetección Espacial*, Rialph, España.

CONABIO (1998), *La diversidad biológica de México: estudio de país*, México.

Cortina, V. S., M. P. Macario y H. Y. Ogneva (1998), "Cambios en el uso del suelo y deforestación en el sur de los estados de Campeche y Quintana Roo", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 38, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 41-56.

Cruz, P. V. (2001), *Impacto de las carreteras en las selvas de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco*, UJAT, México, pp. 15-42.

De la Lanza, G. (1999), "Los humedales patrimonio del País, sin protección", [<http://www.laneta.apc.org/emis/jornada/abril/index.html>: abril 1999].

Dirzo, R. and M. C. García (1992), "Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a neotropical area in South east Mexico", *Conservation Biology*, vol. 6, no. 1, pp. 84-90

DOF, Poder Ejecutivo Federal (agosto 1992), "Decreto de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla", México.

DUMAC (2000), Key Wetlands, Ducks Unlimited de México A. C., [<http://www.dumac.org/dumac/habitat/index.html>].

Eastman, R. (1997), *Idrisi for windows, User's guide versión 2.0*, USA.

Eastman, R. (1992), *IDRISI User's guide versión 4.0*, USA.

ECOYUC (2002), "Humedales en la península de Yucatán", [<http://www.ecoyuc.com/humedales.html>]

Enríquez, G. C. (1998), *Geomorfología e impacto ambiental en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco*, UNAM, México.

FitzPatrick, E. A. (1984), *Suelos. Su formación, clasificación y distribución*, CECSA, México.

Francis, J. K. (2002), "Bucida buceras L.", [<http://www.fs.fed.us/global/iitf/Bucidabuceras.pdf>].

- Francois, M. J. (1998), "Análisis de la deforestación y de la fragmentación forestal en la Laguna de Términos, Campeche", SELPER, IX Reunión Nacional SELPER México. [<http://www.selper.uabc.mx/Publicacio/Con9/te3.doc>: octubre 1998].
- Fuentes, L. y Soto, C. (1992), *La perspectiva ambiental en los sistemas de información geográfica, Memorias del 1er. Congreso Nacional de SIG, AMESIGE*, México.
- González, I. M., O. L. Benítez, C. R. Garza, A. E. Flores y M. H. Badii (2000), *La diversidad vegetal en el manglar de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco*, Reporte privado, PEMEX, UANL, ITESM. México.
- Goodchild, M. F. (1994), "Integrating GIS and remote sensing for vegetation analysis and modeling: methodological issues", *Journal of Vegetation Science*, no. 5, pp. 615-626.
- Green, K., D. Kempka and L. Lackey (1994), "Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 60, no. 3, pp. 331-337.
- Guadarrama, C. (1997), *Geomorfología e impacto ambiental en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco*, UNAM, México.
- Herrera, S. J. y C. E. Cevallos (1998), "Manglares: ecosistemas valiosos", *Biodiversitas*, vol. 4, núm. 30, pp. 2-11.
- INE (2000), Programa de áreas naturales protegidas de México 1995-2000 [<http://www.ine.gob.mx>]
- INE-SEMARNAP (2000), *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla*, México.
- INEGI (1988), *Carta Geológica*, 1:250 000, E15-5 y E15-8, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (1997), *Carta Topográfica*, 1:250 000. E15-5 y E15-8, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- Jensen, R. (1996), *Introductory digital image processing*, Prentice Hall, USA.
- Lambin, E. F. (1996), "Change detection at multiple temporal scales: seasonal and annual variations in landscape variables", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 62, no. 8, pp. 931-938.
- López, G. E., G. Bocco y M. E. Mendoza (2001), "Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo. El caso de la Ciudad de Morelia", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 45, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 56-76.
- López-Hernández, E. (1993), "Los Pantanos de Centla", *Boletín Humedales Costeros de México*, vol. 1, núm. 3, pp. 3-6.
- Lum, K. (1999), "Los humedales: elemento clave de la respuesta a la crisis del agua", *Boletín Los humedales de México*, [www.laneta.apc.org/emis/jornada/abril99/index.htm]
- Mendoza, M., G. Bocco, L. E. Granados y M. Bravo (2002), "Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo, Michoacán", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 49, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 92-117.
- Ortiz, N. (2003), *Peligran por incendio los Pantanos de Centla*, [<http://web.archive.org/web/20030201093130/www.tabascohoy.com.mx/thnuevo/hoy.php>].
- RAMSAR (2000), *What are wetlands?*, The Ramsar Convention Bureau, [http://www.ramsar.org/profiles_mexico.html]
- Red Manglar (2000), *¿Porqué defender el manglar?*, Red Manglar Internacional, [<http://www.redmanglar.org/redmanglar.php?c=250>].
- Romero, G. J., M. A. García, J. A. Bautista y A. P. Pérez (2000), "Caracterización de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla", *Universidad y Ciencia*, vol. 15, núm. 30, México, pp. 15-20.
- Velázquez, A., J. F. Mas, J. R. Díaz, R. Mayorga-Sucedo, P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Escurra y J. L. Palacio (2002), "Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México", *Gaceta ecológica*, núm. 62, INE-SEMARNAT, México, pp. 21-37.