



El Colegio de la Frontera Sur

Cambios de cobertura y servicios ambientales del manglar
de franja en la zona costera Mahahual - Xcalak,
Quintana Roo, México

TESIS
presentada como requisito parcial para optar al grado de
Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural
Por

Biól. Mar. Marina Hiraes Cota

2009

Este trabajo está dedicado a las personas más importantes de mi vida:

*A ti José Alberto por tu amor, tu amistad y por compartir tus sueños
conmigo...*

*A mis hermanas Rosina y Rosa Isela, a mi hermano Francisco, a mi mamá y
papá por estar siempre presentes en mi vida y ser uno de mis motivos para
seguir adelante...*

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis fue el resultado de la participación de muchas personas y organizaciones que ayudaron de distintas maneras: apoyando en campo, brindando asesorías o recursos económicos. Quiero agradecer primero a mi tutor el Dr. Julio Espinoza Ávalos por haberse animado a participar en este proyecto, por dirigirme y creer en mí.

Gracias a ECOSUR por ser mi segunda casa por dos años y a sus investigadores por brindarme parte de sus conocimientos durante los cursos. Igualmente, mis agradecimientos a CONACYT por facilitarme realizar mis estudios de maestría. Un agradeciendo muy merecido al M. en C. Rodimiro Ramos Reyes por su paciencia y dedicación durante su asesoría. Igualmente, agradezco a los asesores de mi Comité Tutelar (Dra. Birgit, Dr. Gerald y Dr. Alberto) por los consejos y su valioso tiempo dedicado a mi tesis. Gracias al M. Antonio Iturbe (CIG-UQROO) por sus asesorías en el tema de Percepción Remota. Al Ing. Héctor E. Ventura Hernández le agradezco su tiempo y aclaraciones brindadas acerca del POET.

Se agradece a las organizaciones no gubernamentales PADI Foundation y MyCOE por patrocinar este trabajo, ya que con sus recursos otorgados fue posible adquirir material y realizar las salidas de campo. También, gracias a ESRI, a la organización GEOEYE y a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA) del Gobierno del estado de Quintana Roo, por donar parte del material necesario para cumplir uno de los objetivos principales de la tesis.

Un agradecimiento a M. en C. Ana María Ramírez Manguilar y Francisco David López Montejo por su ayuda en la realización de las entrevistas. Al Biól. Roberto Herrera Pavón, mil gracias por su valiosísima ayuda en campo y asesorías. Al M. en C. Tito Livio Pérez gracias por el alojamiento otorgado en la Estación Costa Maya (UQROO-Amigos de Sian ka'an) y por los aventones a Mahahual. Gracias al personal del Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (CONANP) por darme hospedaje y asesorarme para realizar las entrevistas en la localidad.

Finalmente, gracias a mis compañeras de maestría Alicia, Ana María, Blanca Prado, Blanca Roldán, Marcela, al compañero Emigdio y mi compañera de casa y amiga Laura, por su amistad, por aguantarme los malos humores y por darme esos buenos ratos de distracción. Gracias a mi familia y amigos que desde la otra península del país me echaban porras.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	5
2.1 Área de estudio	5
2.2 Análisis de cambio de cobertura.....	7
2.3 Evaluación de la exactitud del mapa temático de 2007.....	10
2.4 Cálculo de la tasa de deforestación	12
2.5 Proyección del cambio de cobertura.....	12
2.6 Detección de agentes de disturbio e identificación de servicios ambientales	13
3. RESULTADOS	14
3.1 Cambios de cobertura	14
3.2 Fiabilidad global del mapa temático de 2007.....	18
3.3 Tasa de deforestación	18
3.4 Proyección del cambio de cobertura.....	18
3.5 Agentes de disturbio	18
3.6 Servicios ambientales	20
4. DISCUSIÓN.....	24
4.1 Cambios de cobertura	24
4.2 Fiabilidad global del mapa temático de 2007.....	25
4.3 Agentes de disturbio	27
4.4 Tasa de deforestación y proyección de cambio de cobertura	28
4.5 Servicios ambientales	29
4.6 Sugerencias para la conservación del ecosistema de manglar de franja	32
5. CONCLUSIONES.....	35
6. BIBLIOGRAFÍA.....	36
7. ANEXOS.....	45
ANEXO I. Cuestionario aplicado en las entrevistas de los habitantes de la zona Mahahual-Xcalak.....	45
ANEXO II. Artículo	49
ANEXO III. Normas editoriales de la revista	67

RESUMEN

La zona costera de Mahahual-Xcalak es considerada prioritaria por la modificación ambiental de sus manglares, atribuida principalmente a un desarrollo turístico y urbano reciente. En la actualidad no se cuenta con información acerca de la cobertura de manglar en la zona, la tasa de deforestación y sus causas, información que es necesaria para llevar a cabo acciones de conservación. Para conocer los cambios de cobertura del manglar de franja en esta zona se realizó un análisis multi-temporal post-clasificadorio con imágenes Landsat TM de 1995 y ETM+ de 2007. También, se calculó la tasa de deforestación anual y se hizo una proyección de cambio con el modelo Markov. Durante los 12 años que abarcó este análisis se encontró una pérdida de 830 ha de manglar. Los principales cambios de la cobertura de manglar fueron hacia manglar afectado por el huracán Dean y a otros usos de suelo. La tasa de deforestación fue 0.95%, tasa alta respecto a otras regiones del país. El cambio más probable detectado por Markov fue de manglar hacia la clase otros usos de suelo. Se encontraron 9 agentes de disturbio del manglar, la mayoría fue de origen antropogénico. Los agentes que más contribuyeron a la deforestación de manglar fueron la construcción de caminos y la deforestación para construir viviendas. Por medio de una consulta bibliográfica de estudios regionales y entrevistas se identificaron 18 servicios ambientales que los habitantes locales reciben del manglar. El servicio más mencionado fue el 'paisaje', el cual les permite prestar servicios turísticos. Es necesario tomar medidas de rehabilitación y conservación del manglar para preservar los servicios ambientales y lograr un desarrollo sustentable de la zona costera Mahahual-Xcalak.

1. INTRODUCCIÓN

Los bosques de manglar son considerados un recurso natural importante localizado en la zona costera intermareal y supramareal, de ambientes tropicales y subtropicales (Agüero-Negrete, 1999). A pesar de que predominan en zonas con mayor presencia de sedimentos terrígenos, como lagunas costeras y estuarios, también pueden ser encontrados en la línea de costa de plataformas carbonatadas, que se caracterizan por tener una influencia de drenaje dulce-acuícola superficial limitada o nula (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1998). Como resultado de factores locales tales como la morfología de la orilla, la influencia de mareas y corrientes de ríos, y la variación en la salinidad y la sedimentación, puede haber tres formas generales de bosques de manglar: manglar ribereño, manglar dominado por mareas o de franja, y manglar de base (Hogarth, 1999).

El manglar de franja es un ecosistema que se encuentra a lo largo de los litorales en sitios expuestos a mar abierto y en sitios protegidos como bahías y lagunas costeras; forma una franja de vegetación gracias al buen desarrollo estructural en altura y densidad arbórea (Granados-Sánchez *et al.*, 1998; Trejo-Torres *et al.* 2003). Debido a su ubicación en la zona costera, donde existe una intensa actividad humana y con múltiples usos como la pesca, urbanización, acuicultura, recreación, turismo, etcétera (Green y Penning-Rowsell 1999; Primavera, 2006), este tipo funcional de manglar es vulnerable ante diversos agentes de disturbios naturales y antropogénicos (Ellison y Farnsworth, 1996; Allen *et al.*, 2001; Alongi, 2002).

El disturbio es definido como cualquier evento relativamente discreto en el tiempo que altera la estructura de poblaciones, comunidades y ecosistemas, y cambia recursos, disponibilidad de sustrato o el ambiente físico (Lazka, 2001). Entre los agentes naturales de disturbio que afectan a los manglares están los huracanes, las tormentas tropicales, los maremotos, los cambios en el nivel del mar, la erosión costera y la hipersalinidad de los suelos. Los agentes de origen antropogénico son la construcción de viviendas, carreteras, terracerías, obras portuarias y embalses o represas, así como la descarga de aguas termales, la contaminación por petróleo y sus derivados, el desarrollo turístico, la actividad salinera, la acuicultura y la extracción de madera (Trejo-Torres *et al.*, 1993; López-Portillo y Escurra, 2002; Tovilla-Hernández y Orihuela-Belmonte, 2002), entre otros. Como resultado de estos

agentes de disturbio, los manglares están bajo una constante degradación y destrucción (Valiela *et al.*, 2001) que se manifiesta en la disminución de su cobertura y en la posible pérdida de sus servicios ambientales (FAO, 2007; UNEP-WCMC 2006).

Los servicios ambientales o servicios de los ecosistemas son los beneficios que las personas obtienen, directa o indirectamente, de las funciones de los ecosistemas, y que producen bienestar humano (Costanza *et al.*, 1997; MEA, 2005). Este bienestar humano es definido como una condición contraria a la pobreza, y comprende los siguientes elementos: materiales básicos para vivir (p. ej. alimento), salud (p. ej. acceso a agua limpia), buenas relaciones sociales (p. ej. respeto mutuo), seguridad (p.ej. seguridad ante desastres) y libertad de elección (p. ej. elegir qué y cuánto consumir). Los constituyentes del bienestar humano están directamente relacionados con los cuatro tipos de servicios ambientales, que son: de aprovisionamiento (productos obtenidos del ecosistema), de regulación (beneficios obtenidos de procesos de regulación del ecosistema), culturales (beneficios no materiales obtenidos del ecosistema) y de soporte (servicios necesarios para la producción de todos los otros servicios) (MEA, 2003, 2005).

En estudios recientes se ha enfatizado sobre la necesidad de identificar servicios ambientales de los manglares, con el fin de dar a conocer la dependencia de las comunidades costeras hacia éstos o, en general, para destacar lo relevante que son para el bienestar humano (Kaplowitz, 2000; Acharya, 2002; Sanjurjo-Rivera y Welch-Casas, 2005). Existe un gran número de servicios ambientales atribuidos a los manglares; entre estos se encuentran prevenir de la erosión del suelo y playas, servir como sumidero de nutrientes y carbono, mantener y mejorar la calidad del agua, proveer hábitat a los animales, proteger la línea de costa de tormentas, oleaje e inundaciones, y permitir la recreación (Sanjurjo-Rivera y Welch-Casas, 2005; UNEP-WCMC, 2006; Moberg y Rönnbäck, 2003; Ewel *et al.*, 1998).

A pesar de que los manglares son una fuente de valiosos servicios ambientales persistente un proceso de conversión de este ecosistema a otros usos de suelo, provocando una pérdida anual de 1 al 2 % del manglar del mundo (Duke *et al.*, 2007); esto ocurre pese a que en algunos países, como México, están protegidos legalmente (SEMARNAT, 2003; Ley General de Vida Silvestre, 2008). Entre los principales factores que provocan la transformación de los manglares a otros usos del suelo están la falta de reconocimiento real de la importancia social, económica y ecológica de los manglares, y de los beneficios que este

ecosistema puede generar. Por otra parte, las decisiones de convertir los manglares a otros usos de suelo generalmente no involucran a los beneficiarios directos de los servicios de estos ecosistemas (Agüero-Negrete, 1999; Sanjurjo-Rivera y Welch-Casas, 2005). En México, una de las principales causas de la deforestación del manglar es la carencia de estrategias de manejo adecuadas ante la presión urbana y actividades socioeconómicas ligadas al turismo, la agricultura y la acuicultura (Loa-Loza, 1994; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1998; Lambin, 1999).

En cuanto a estudios de manglares en el estado de Quintana Roo, existen escasos trabajos acerca de este ecosistema. Sánchez *et al.* (1991) describieron al manglar de la zona sur del estado como una agrupación homogénea y compleja, con cuatro tipos de asociaciones: asociación de *Rhizophora-Laguncularia-Avicenia-Conocarpus* (manglar mixto), asociación *Conocarpus-Laguncularia*, asociación *Rhizophora* y petén. Dichas asociaciones comúnmente se disponen en zonaciones bien definidas, desde áreas inundadas y salinas hasta suelos más secos y menos salinos. La asociación *Rhizophora* es la que se encuentra en suelo más sumergido y salino, y la asociación ubicada en los terrenos más secos internos es el petén.

En un estudio posterior, el de Trejo-Torres *et al.* 1993, se destaca que el desarrollo turístico y urbano realizado 20 años atrás había tenido efectos negativos en el estado de conservación de los manglares de la Península de Yucatán. Para Quintana Roo, mencionaron que la construcción de caminos y carreteras, así como algunas construcciones en la zona costera, como hoteles y restaurantes, habían dañado y/o destruido el manglar de algunos sitios. Los mismos autores mencionaron la necesidad de estudios básicos sobre manglares; entre estos, los que determinen su estado de conservación, para plantear opciones para su aprovechamiento.

En un estudio exclusivo de los manglares de Quintana Roo, Granados-Sánchez *et al.* (1998) describieron la geografía de los manglares del estado y mencionaron que los tipos de manglares en esta costa (mixto, enano, ribereño, de franja y de isla) se presentan como un continuo. Describieron al manglar como un refugio de fauna silvestre como aves, mamíferos y reptiles, y enfatizaron que estos ecosistemas tienen un gran potencial para el desarrollo de la maricultura y el ecoturismo.

Por su parte Pérez-Villegas y Carrascal (2000) evaluaron el impacto del desarrollo turístico sobre la vegetación de Cancún en el periodo 1970-1990. Encontraron perturbada la mayor parte de la vegetación en la superficie estudiada y el manglar fue uno de los tipos de

vegetación con mayor decremento en su cobertura, después de la selva media. Los autores recomendaron que para desarrollos turísticos futuros debe tomarse en cuenta la vocación natural del suelo para no deteriorar el medio físico, como sucedió en Cancún.

Al sur de Quintana Roo, De Jesús-Navarrete y Olivera-Rivera (2002) estudiaron la producción de hojarasca del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en el Canal de Bacalar Chico. Observaron una alta producción de hojarasca y concluyeron que los manglares en su zona de estudio estaban en buen estado de conservación, además, sugirieron, que debían ser protegidos y utilizados bajo criterios conservacionistas. Otro estudio de manglares al sur del estado es el de Torrescano e Islebe (2006), quienes describieron la historia ambiental de los manglares en los últimos 5000 años por medio de análisis de polen fósil. Llegaron a la conclusión que el sistema de manglar dominaba en el área de estudio (El Palmar, al margen del Río Hondo) entre los 4600 y 4000 años antes del presente, gracias a los aumentos en el nivel del mar y el consecuente aumento de la salinidad en los sedimentos. El estudio más reciente de manglar en Quintana Roo es el de Carrillo-Bastos *et al.* 2008. En este trabajo se examinaron las estrategias de regeneración de un fragmento de manglar después del paso de un huracán. Encontraron estrategias diferentes entre las especies *Conocarpus erectus* y *R. mangle*, siendo la segunda especie la más resistente a la fuerza de los vientos.

En el estado de Quintana Roo no hay información acerca de la extensión del manglar ni de los servicios ambientales que este presta a la sociedad. Incluso, a nivel nacional no se conoce la extensión del manglar con precisión (Ruiz-Luna *et al.*, 2008), por lo que tampoco existe certeza sobre los cambios en su cobertura, su tasa de pérdida a lo largo de los años y cuáles son sus principales amenazas (Berlanga-Robles y Ruiz-Luna, 2007; CONABIO, 2008), sin embargo, se ha estimado que es uno de los países con más altos niveles de deforestación de manglar en la región de America del Norte y América Central (Ruiz-Luna *et al.*, 2008; FAO, 2007).

La importancia de conocer la cobertura y la tasa de deforestación del manglar de un sitio o zona determinada radica en tener información base para planear e implementar estrategias dirigidas a conservar este recurso natural (Berlanga-Robles y Ruiz-Luna, 2007). A su vez, la identificación de servicios ambientales del manglar por parte de pobladores locales puede ayudar a que se reconozca el valor de este recurso para el bienestar humano. Ambos reconocimientos favorecerían el establecimiento de políticas encaminadas a la conservación de

los manglares; además, que esa información estaría disponible para quienes toman decisiones que involucran cambios en el uso del suelo de este importante ecosistema. Dado lo anterior, el objetivo general del presente trabajo es estimar el cambio de cobertura del manglar de franja de la zona Mahahual-Xcalak en los últimos 12 años, e identificar los servicios ambientales que este ecosistema ofrece a lo habitantes locales. Los objetivos particulares son:

- Estimar la cobertura de manglar en los años 1995 y 2007 en la zona.
- Estimar la pérdida de cobertura en el periodo de tiempo 1995-2007.
- Evaluar la fiabilidad de los mapas temáticos.
- Calcular la tasa de deforestación del manglar.
- Hacer predicciones del cambio de cobertura del manglar.
- Detectar los agentes de disturbios naturales o antropogénicos que provocan la degradación del manglar.
- Identificar los servicios ambientales del manglar percibidos por los habitantes locales.
- Registrar los servicios ambientales del manglar mencionados en estudios regionales.
- Evaluar las diferencias entre grupos de entrevistados respecto a la percepción de servicios y agentes de disturbio.
- Sugerir medidas para la conservación del ecosistema de manglar de franja.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El área de estudio está localizada al sur del estado de Quintana Roo, en el Municipio de Othón P. Blanco, entre las coordenadas UTM X 425373.172 Y 2075309.736 m y X 411515.823 Y 2017267.893 m, Datum NAD 27 zona 16 norte (Fig. 1). Está delimitada al norte por el poblado Mahahual, al sur por el poblado Xcalak, al este por el Mar Caribe y al oeste por el estado de Quintana Roo. El tipo de clima es 'Cálido subhúmedo con lluvias en verano', la temperatura anual oscila entre 25.5 °C y 26.5 °C y el régimen de lluvias varía entre 1,009 mm y 1,489 mm (Camarena-Luhrs y Salazar-Vallejo, 1991).

Existen varios ecosistemas en el área: entre los principales están los arrecifes de coral, los humedales, las lagunas costeras, las playas y las selvas (CONANP-SEMARNAT, 2004). La zona costera del área es baja y plana, y la cubre una vegetación arbustiva a partir de la línea

de mareas altas (Camarena-Luhrs y Salazar-Vallejo, 1991). Los tipos de vegetación presentes son duna costera, manglar, selvas y vegetación secundaria (Sánchez *et al.* 1991). Las especies de mangle en el área de estudio son cuatro: *Rhizophora mangle* L. (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. (mangle blanco), *Avicennia germinans* (L.) Stearn (mangle negro) y *Conocarpus erectus* L. (mangle botoncillo). Estas especies pueden formar parte de alguno o todos los tipos de manglar encontrados en la zona: manglar mixto, manglar enano, manglar ribereño, manglar de franja y manglar de isla (Granados-Sánchez *et al.*, 1998).



Figura 1. Área de estudio Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, México. La franja costera del recuadro representa la superficie de estudio.

El área de estudio pertenece a la provincia Costera Caribeña, que se caracteriza por presentar un desarrollo turístico intensivo que ha implicado la modificación ambiental en

manglares, por la tala inmoderada y por los cortes de circulación de agua (Arriaga-Cabrera *et al.*, 1998). Incluye a gran parte del Área Natural Protegida 'Parque Nacional Arrecifes de Xcalak', considerada un sitio Ramsar (CONANP-SEMARNAT, 2004; Camarena-Luhrs, 2003). Está ubicada dentro del Sitio Prioritario de manglar Sian Ka'an-Xcalak, determinado por su relevancia biológica y por tener necesidad de una inmediata rehabilitación ecológica (CONABIO, 2008). También, forma parte del Área Prioritaria Marina Xcalak-Majahual decretada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, debido a su alta biodiversidad y estar amenazada por la modificación del entorno y uso de recursos (Arriaga-Cabrera *et al.*, 1998).

Los centros de población del área de estudio son Mahahual y Xcalak, con un número total de habitantes de 252 y 282, respectivamente (INEGI, 2005), sin considerar a la población flotante. Mahahual empezó a considerarse un centro poblacional a principios de 1990 (Peraza-Buenfil 1999), y de 2000-2005 su población se incrementó en un 89% (INEGI 2000, INEGI 2005). La población de Xcalak se ha mantenido estable desde 1980 (Peraza-Buenfil 1999, INEGI 2000, INEGI 2005). La pesca y el turismo son las principales actividades económicas del lugar, la última con miras a convertirse en la actividad base del desarrollo económico de la región sur del estado de Quintana Roo (POET-CM 2006). Los manglares aledaños a la localidad de Mahahual son los más vulnerables ante el inminente desarrollo turístico; un ejemplo claro de las posibles amenazas a la conservación de este ecosistema es la presencia de un muelle de cruceros turísticos, que para 2007 recibió dos cruceros semanales con una afluencia de aproximadamente 1, 500 visitantes cada uno (FONATUR, 2008).

Sumado a las fuentes de degradación antropogénicas, el manglar de la zona de estudio está expuesto a agentes de degradación naturales, como los huracanes que son frecuentes en la zona en el verano y parte del otoño (Vidal-Zepeda, 2005). Recientemente, los manglares del área de estudio fueron impactados por el huracán Dean y según estimaciones cualitativas de daños, los manglares de las localidades más norteñas fueron severamente afectados, mientras que los de la parte de sur no presentaron daños graves (Gómez-Pot, 2007; Merediz, 2007).

2.2 Análisis de cambio de cobertura

Para estimar los cambios de cobertura del manglar de franja se hizo un análisis multi-temporal post-clasificadorio usando imágenes Landsat TM y Landsat ETM+ del pat/row 19/47.

El análisis consistió en varias fases (Fig. 2). Como primer paso se adquirió el material geográfico para el análisis, cuyos parámetros y características se describen en las Tablas 1 y 2.

La preparación o pre-procesamiento de las imágenes consistió en recortarlas y hacerles rectificaciones geométricas. Con el recorte se obtuvo un polígono de aproximadamente 20,000 ha que comprendió el área de estudio. Para llevar a cabo la rectificación geométrica, los cortes de las imágenes fueron geo-referenciados con el software ArcGIS 9.2 (ArcMap) usando como referencia la imagen Landsat ETM+ con fecha noviembre de 2004.

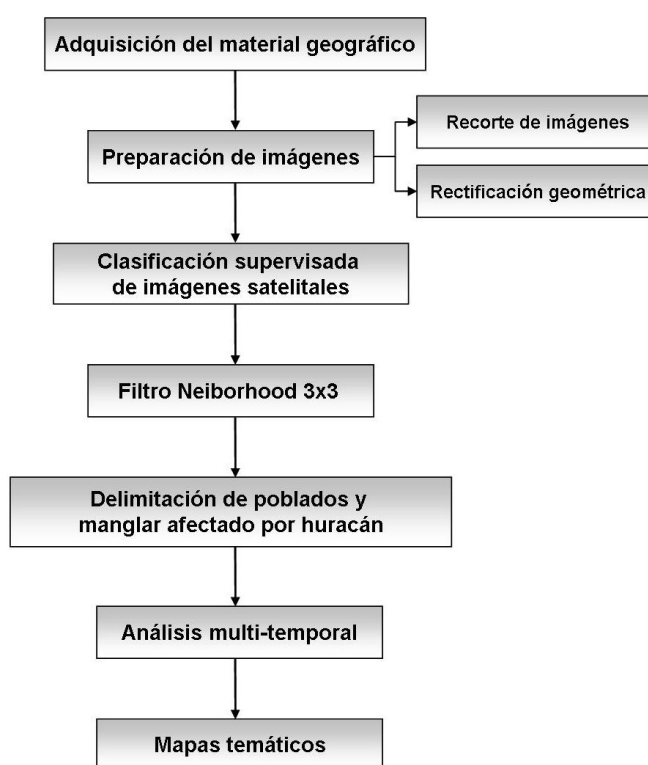


Figura 2. Método para el análisis multi-temporal post-clasificatorio

Tabla 1. Parámetros de las imágenes satelitales utilizadas en el análisis.

Tipo de imagen	Sensor	Fecha de toma	Resolución espectral	Resolución espacial
Landsat TM	LANDSAT 5	Noviembre 1995	3 bandas	30 m
Landsat ETM+	LANDSAT 7	Noviembre de 2004	6 bandas	30 m
Landsat ETM+	LANDSAT 7	Diciembre de 2007	6 bandas	30 m
SPOT	SPOT 5	Diciembre de 2003	4 bandas	20 m
SPOT	SPOT 5	Enero de 2006	4 bandas	20 m
IKONOS	IKONOS-2	Septiembre de 2006	4 bandas	1 m

La clasificación de las imágenes se realizó con el software ‘Erdas Imagine’, usando el método supervisado y la regla de decisión paramétrica ‘máxima verosimilitud’. El método supervisado consiste en delimitar sobre la imagen áreas o grupos de píxeles representativos (áreas de entrenamiento) de cada una de las clases de cobertura. Los valores numéricos de cada área de entrenamiento permiten al programa de clasificación asignar el resto de los píxeles a una clase de cobertura por medio de una regla de decisión, en este estudio se usó la regla Máxima Verosimilitud; estas áreas pueden ser seleccionadas con la ayuda de otras fuentes como fotografías aéreas, cartas de uso de suelo, etc. (Chuvieco, 2002).

Para seleccionar las áreas de entrenamiento en la clasificación de la imagen de 1995 se usaron puntos tomados con un SPG (Sistema de Posicionamiento Global) Trimble Geo Explorer en el mismo año durante el proyecto Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la región Costa Maya (1995), así como, una carta de uso de suelo y vegetación del INEGI de las series II (Bahía Ascensión, clave E-16-2-5). El material de apoyo para la clasificación de la imagen de 2007 fue una Imagen SPOT de año 2006, una Imagen IKONOS de 2006, y los puntos tomados con un SPG Garmin en 2005 y 2007 por el Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la región Costa Maya (2005) y la Secretaría de Marina, respectivamente.

Tabla 2. Características del material geográfico utilizado en el análisis

Tipo de material	Características
Carta de uso de suelo y vegetación Clave E-16-2-5 Serie II	Nombre: Bahía Ascensión Escala: 1:250000 Fecha de elaboración: 1998-2000
Puntos geográficos obtenidos con Sistema de Posicionamiento Global (SPG)	Fecha de toma: 1995, 2005, 2007

Las clases de cobertura que se determinaron fueron: manglar, otro tipo de vegetación (selvas y vegetación de duna costera), otros usos de suelo (camino, claros y suelo expuesto inundable), agua, pueblos y manglar afectado por el huracán Dean. Para mejorar las imágenes

clasificadas se aplicó un filtro 'Neighborhood' con una ventana de 3x3, con el cual se disminuyó el efecto de píxeles aislados (efecto 'sal y pimienta').

Debido a que no fue posible diferenciar pueblos de otras clases de cobertura (como caminos y nubes), esta clase tuvo que ser digitalizada manualmente en las imágenes clasificadas usando el software ArcGIS 9.2 (ArcMap). Los cortes de las imágenes ya clasificados y filtrados fueron convertidos a formato Vector y en ese formato se definió la zona urbana en las dos localidades de interés (Mahahual y Xcalak) con una escala de trabajo 1:30000. Posteriormente, esos cortes fueron convertidos a formato Raster.

Un análisis temporal de cambios de cobertura se llevó a cabo con la herramienta 'Matrix' del software Erdas Imagine. Matrix produce un mapa temático que contiene cada una de las combinaciones posibles de las clases de cobertura de dos mapas temáticos, en este caso las combinaciones de las clases de los mapas de 1995 y 2007. Cada una de estas clases, que representa una coincidencia, tiene un valor único e información asociada, como las hectáreas de cambio de una clase a otra.

Con los resultados de las clasificaciones se elaboró una tabla para mostrar las hectáreas de cada una de las clases de cobertura en cada año. La cobertura de manglar del 2007 fue calculada a partir de la matriz generada en análisis de cambio de coberturas, ya que en esta matriz podían observarse las ganancias y pérdidas del manglar, así como las subestimaciones y sobreestimaciones del área que ocupa el manglar. También, se construyó una tabla con los cambios de cobertura resultantes del análisis temporal y su superficie (ha) correspondiente. Finalmente, se elaboraron mapas temáticos con el software ArcView 3.2, para mostrar las clases de cobertura en los años 1995 y 2007 y los cambios de cobertura del manglar en el periodo de 1995-2007.

2.3 Evaluación de la exactitud del mapa temático de 2007

Para conocer con qué exactitud fue clasificada la imagen de 2007, se eligieron 288 coordenadas al azar con la herramienta 'Accuracy Assessment' del software ERDAS Image, de las cuales 49 fueron verificadas en el campo y 239 con el software Google Earth Pro. Los sitios que se verificaron en el campo fueron los más accesibles y se ubicaron con un SPG Garmin Etrex Vista HCx (3 m de error). El resto de coordenadas fueron proyectadas en

imágenes del software Google Earth Pro (con fecha febrero de 2007), a una altura de 400 m, y en ellas se identificó la clase de cobertura correspondiente.

Para la imagen clasificada de 2007 se construyó una ‘matriz de confusión’, con la cual es posible conocer los conflictos entre las clases de cobertura real (verificadas) y las clases producto de la clasificación (Congalton, 1999). Con ello se obtuvieron varias valoraciones (Banko, 1998): la ‘exactitud de productor’ (qué tan bien han sido clasificadas algunas áreas), la ‘exactitud de usuario’ (qué tan bien el mapa representa la realidad), el ‘error de omisión’ (proporción de características observadas en la tierra que no son clasificadas en el mapa) y el ‘error de comisión’ (diferencias entre el mapa y la realidad).

A partir de los resultados de la matriz, se estimó la ‘exactitud global’ del mapa temático de 2007, que es el producto de la división del total de los elementos clasificados correctamente entre el total de los puntos verificados. También se calculó el ‘coeficiente Kappa’, que evalúa si la clasificación ha discriminado las clases de interés con exactitud significativamente mayor a la que se hubiera obtenido con una clasificación azarosa, fue calculado con la fórmula:

$$k^{\wedge} = \frac{n \sum_{i=1,n} X_{ii} - \sum_{i=1,n} X_{i+} X_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1,n} X_{i+} X_{+i}}$$

Donde:

i = clase

n = tamaño de la muestra

X_{ii} = el acuerdo observado (elementos clasificados correctamente)

$X_{i+} X_{+i}$ = el producto de los marginales de la matriz (elementos totales de cada clase) (Chuvieco 2002).

No fue posible obtener la ‘exactitud global’ de la imagen clasificada de 1995 debido a que no se tuvo el material necesario para hacer su verificación.

2.4 Cálculo de la tasa de deforestación

La tasa de deforestación (δ) del manglar, que expresa el cambio en porcentaje de la superficie al inicio de cada año, se calculó por medio de la fórmula propuesta por Palacio-Prieto *et al.*, (2004):

$$\delta = [S2/S1]^{1/n} - 1$$

Donde:

δ = tasa de cambio (para expresarla en porcentaje hay que multiplicarla por 100)

S1= superficie en la fecha 1

S2= superficie en la fecha 2

n= número de años entre las dos fechas

2.5 Proyección del cambio de cobertura

Se hizo una predicción de cambio de la cobertura de manglar para el año 2011 con la herramienta de modelación Markov del software Idrisi Andes. El modelo Markov se basa en el 'Análisis en Cadena Markov' que permite predecir el estado de un sistema en el tiempo 2 a partir del estado del sistema en el tiempo 1 (Easmant, 2006). Las propiedades del modelo son las siguientes:

- 1) *La propiedad Markov.* Si en algún tiempo t el proceso está en estado E_j , la probabilidad de que una unidad de tiempo más tarde esté en estado E_k depende solo de E_j , y no de la historia pasada del estado que ésta tuvo antes del tiempo t .
- 2) *La propiedad de probabilidades de transición temporalmente homogéneas.* Dado que en el tiempo t el proceso está en estado E_j , la probabilidad de que una unidad de tiempo más tarde esté en estado E_k es independiente de t (Ewens y Grant, 2006).

El modelo analiza dos imágenes clasificadas de fechas diferentes, en este caso se usaron las imágenes clasificadas de 1995 y 2007, para así predecir el cambio futuro. Es necesario que las dos imágenes tengan la misma cantidad de clases de cobertura y que las clases tengan los mismos valores (Easmant, 2006). Para cumplir con el requisito anterior se re-codificó la imagen clasificada de 2007 para agrupar la clase 'manglar afectado por el huracán Dean' con la clase 'manglar', así, ambas imágenes tuvieron cinco clases de cobertura. La

predicción se hizo para el año 2011 debido a que en ese año termina el Plan Estatal de Desarrollo del Estado de Quintana Roo, por lo que se supone la misma tendencia en cuanto a planes de desarrollo turístico y urbano hasta ese año.

El error proporcional asignado al modelo fue de 15%, error que expresa la probabilidad de que las clases de cobertura terrestre en las imágenes clasificadas, usadas en el modelo, sean incorrectas. Uno de los productos del Modelo Markov de Idrisi es una ‘matriz de probabilidades de transición’, que registra la probabilidad de cambio de cada una de las clases de cobertura a cada una de las otras clases (Easmant, 2006). En este trabajo, solo se enfocó en las probabilidades de la clase ‘manglar’ de cambiar a otras clases.

2.6 Detección de agentes de disturbio e identificación de servicios ambientales

Con el fin de conocer la percepción de los habitantes acerca de los principales agentes de disturbio del manglar y de los servicios ambientales que reciben de este ecosistema, se aplicó una entrevista semiestructurada a 56 habitantes de la zona (ANEXO I). Para obtener información que coincidiera lo más posible con el periodo de años que abarcó este estudio (de 1995 a 2007), la muestra de entrevistados fue seleccionada con el criterio de al menos 10 años de residencia en la zona. El tipo de muestreo fue no probabilístico tipo ‘propositivo’ (De Vaus, 2002) y se usó la sub-categoría de ‘bola de nieve’ (Berg, 1986), que consiste en consultar a un informante clave que cumple con el criterio usado para seleccionar la muestra, en este caso años de residencia, quien recomienda a otras personas con el criterio de selección y que también puede dar nombres de otras personas posibles a entrevistar. Así se fue obteniendo la lista de las personas que cumplieron con el requisito de años de residencia en la zona. El cuestionario se construyó siguiendo las recomendaciones de De Vaus (2002) y se aplicó bajo el esquema de participación voluntaria.

Se llevaron a cabo 29 entrevistas en la localidad de Mahahual y 27 en Xcalak. El grupo de entrevistados estuvo integrado por 11 mujeres y 45 hombres, con una edad promedio de 49 años (rango= 22-77 años) y con una escolaridad promedio de ‘primaria concluida’. Los entrevistados fueron clasificados en cinco grupos de acuerdo a su principal actividad económica. El grupo de ‘pescadores’ estuvo integrado por 10 personas, el de ‘prestadores de servicios turísticos’ (PST) por 10; otros 7 fueron ‘autoridades locales’, 6 ‘comerciantes’, 4 ‘empresarios turísticos’ y las 19 restantes, ‘otros habitantes’, se dedican a otras actividades.

Los servicios ambientales se agruparon en cuatro tipos (MEA, 2005): ‘aprovisionamiento’ (productos obtenidos del ecosistema), ‘cultural’ (beneficios no materiales obtenidos del ecosistema), ‘regulación’ (beneficios obtenidos de procesos de regulación del ecosistema) y ‘soporte’ (servicios necesarios para la producción de todos los otros servicios).

Con los resultados obtenidos de las entrevistas se hicieron gráficas con las frecuencias absolutas de los servicios ambientales y de los agentes de disturbio reconocidos por los habitantes. Se hicieron análisis de correlación lineal simple para buscar alguna dependencia entre el número de agentes y el número servicios identificados con los años de residencia, la ocupación y el nivel educativo. Para comparar entre las localidades el número de servicios ambientales y el número de agentes de disturbio identificados se aplicaron la prueba t y la prueba no paramétrica U-Mann-Whitney, respectivamente. Para conocer si había diferencia entre las respuestas de los entrevistados con respecto a su localidad y la frecuencia con que fue identificado cada servicio ambiental y cada agente de disturbio, se aplicó la prueba Chi-cuadrada de Pearson. También se comparó el número de servicios ambientales y el número de agentes de disturbio identificado entre los grupos de entrevistados, con la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis. Las pruebas estadísticas se hicieron con el software STATISTICA versión 6.0.

Para complementar la información obtenida a través de las entrevistas, durante las visitas a campo se tomaron fotografías de sitios con manglar degradado para identificar agentes de disturbio. También, se hizo una consulta bibliográfica de trabajos de ámbito regional para tener un registro más amplio de los servicios ambientales de los manglares.

3. RESULTADOS

3.1 Cambios de cobertura

Como resultado de la clasificación de las imágenes se obtuvieron mapas temáticos que muestran la cobertura del manglar de franja y de otras clases en 1995 y 2007 (Fig. 3). Las coberturas de manglar de franja estimadas para el área de estudio fueron de 7,690 ha y 6,860 ha para 1995 y 2007, respectivamente; incluyéndose para 2007 la extensión de la clase ‘manglar afectado por el huracán Dean’. Las clases que tuvieron un decremento en su superficie fueron la de ‘manglar’ y ‘otro tipo de vegetación’; en contraste, las clases que

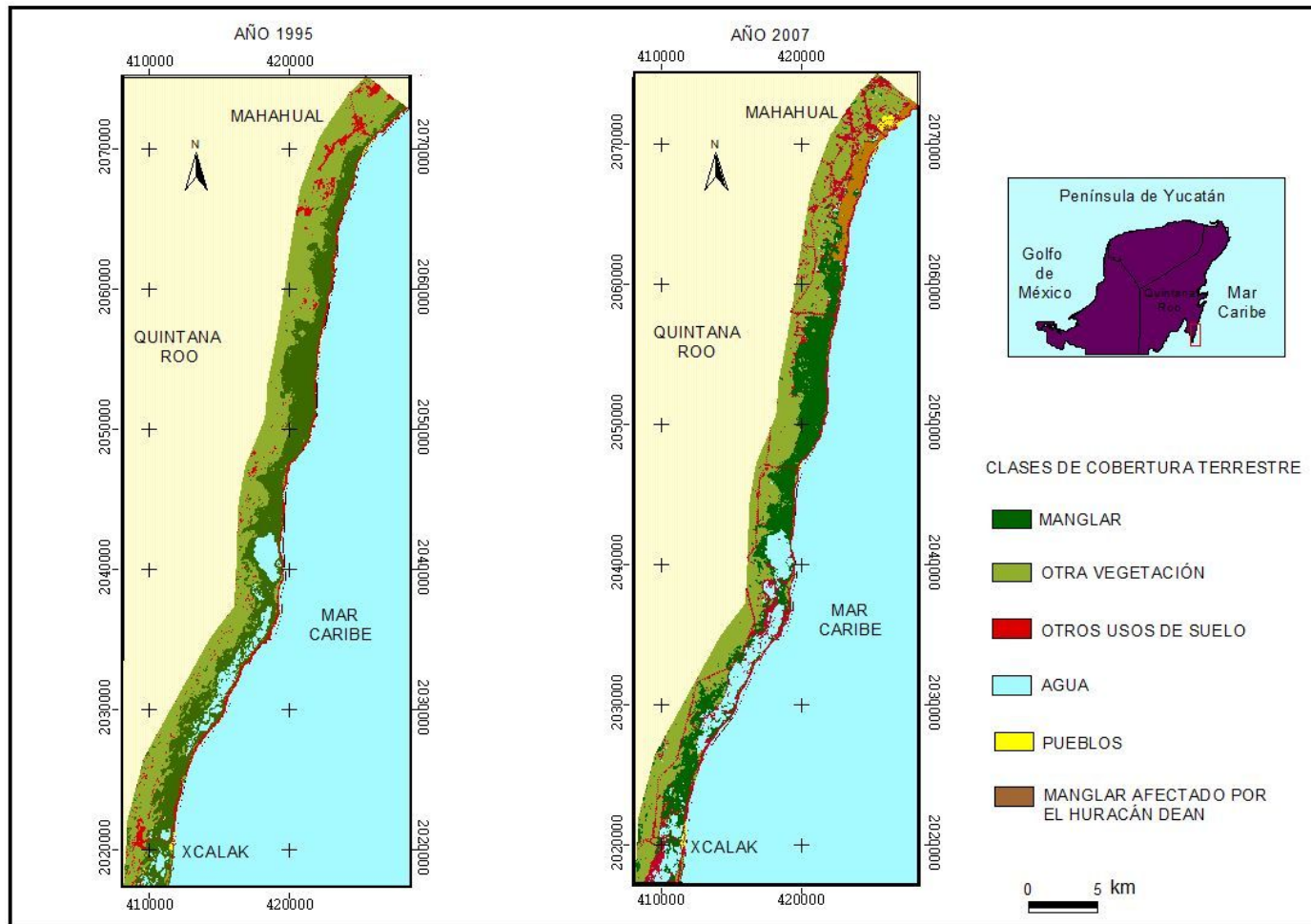


Figura 3. Clases de cobertura en la zona Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, en 1995 y en 2007. Nótese el aumento de las clases ‘otros usos de suelo’ (principalmente caminos) y ‘pueblos’.

incrementaron su superficie fueron la de ‘otros usos de suelo’ (principalmente en caminos), ‘agua’ y ‘pueblos’ (Tabla 3, Fig. 3).

Tabla 3. Extensión de las clases de cobertura en 1995 y 2007 para la zona Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, México. La clase ‘manglar’ incluye el área de manglar a afectado por el huracán Dean (750 ha).

Clase de cobertura	Superficie (ha)	
	1995	2007
Manglar	7,690	6,860
Otro tipo de vegetación	9,600	8,930
Otros usos de suelo	1,470	2,630
Agua	1,860	2,590
Pueblos	40	160

Los cambios de coberturas observadas en el análisis de cambio se muestran en la Tabla 4 y en la Figura 4. Los incrementos más grandes en superficie modificada entre 1995 y 2007 ocurrieron de la clase ‘manglar’ a ‘manglar afectado por el huracán Dean’, de ‘manglar’ a ‘agua’, y de ‘manglar’ a ‘otros usos de suelo’; el incremento menor fue de ‘manglar’ a ‘pueblos’.

Tabla 4. Cambio de superficie (ha) entre las clases de cobertura, de 1995 a 2007, para la zona Mahahual- Xcalak, Quintana Roo, México.

Clase en 1995	Clase en 2007	Superficie (ha)
Agua	Manglar	40
Otra vegetación	Manglar	470
Otros usos	Manglar	110
Manglar	Manglar afectado por huracán	750
Manglar	Otra vegetación	450
Manglar	Otros usos	650
Manglar	Agua	770
Manglar	Pueblos	8

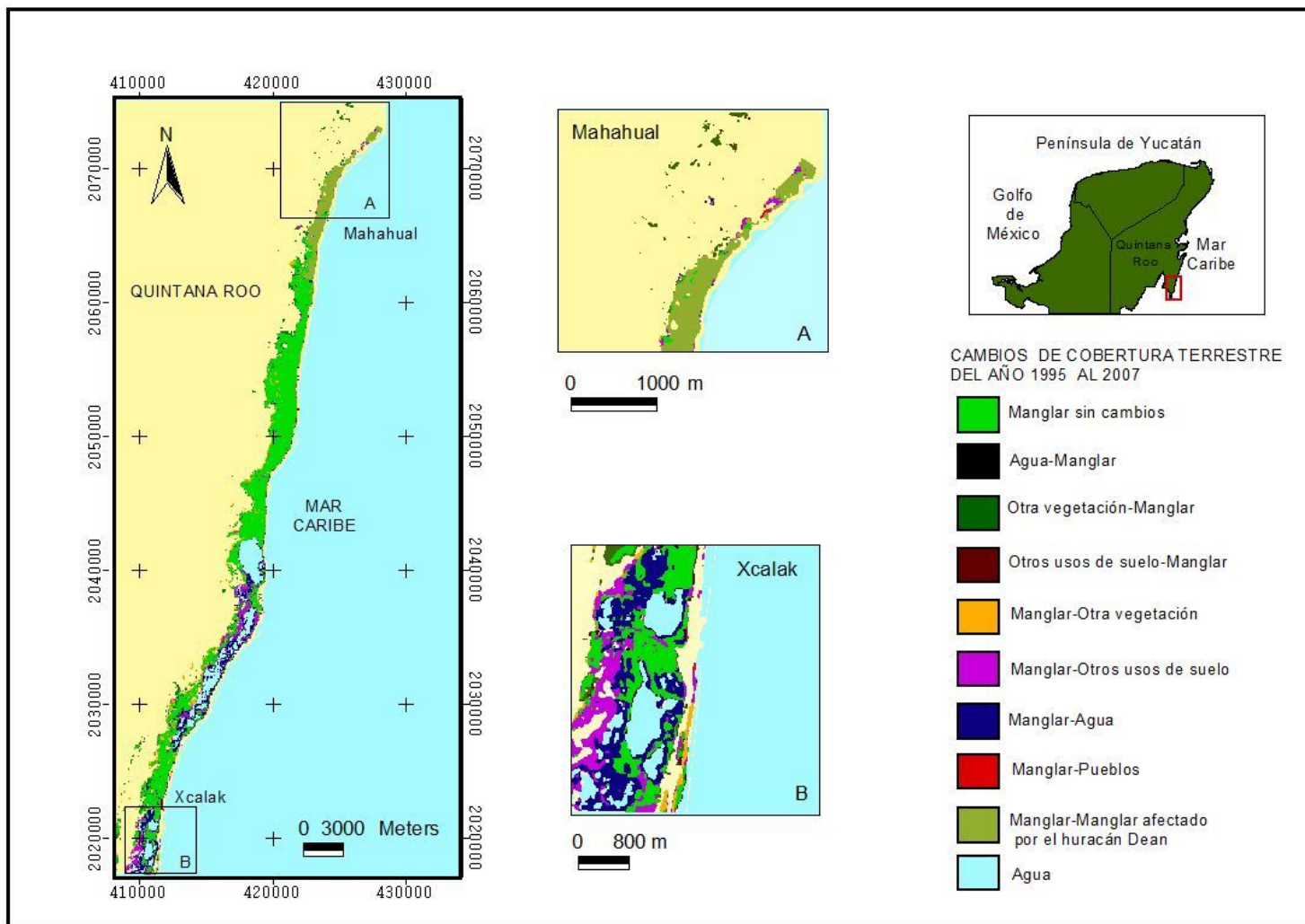


Figura 4. Cambio de coberturas terrestre en la zona Mahahual-Xcalak en el periodo 1995-2007. Los recuadros A y B muestran un acercamiento de los cambios de las clases de cobertura para Mahahual y Xcalak, respectivamente.

3.2 Fiabilidad global del mapa temático de 2007

La clase de cobertura ‘pueblos’ tuvo la más alta exactitud de usuario, mientras que la mayor exactitud de productor fue para la misma clase y la de ‘manglar afectado por el huracán Dean’. La clase con menos exactitud de productor y mayor error de omisión en el mapa temático 2007 fue la clase ‘agua’. La clase ‘otros usos de suelo’ tuvo la más baja exactitud de usuario y mayor error de omisión (Tabla 5). A partir de las exactitudes en el mapa de 2007 se obtuvo una fiabilidad global de 85.0 % y un índice de Kappa igual a 0.79.

3.3 Tasa de deforestación

La pérdida de manglar estimada para los 12 años de estudio es de 830 ha, con una tasa de deforestación de 0.95% que equivale a una pérdida anual de 67 ha de manglar.

3.4 Proyección del cambio de cobertura

El resultado del modelo nos indica que la probabilidad de la clase ‘manglar’ de permanecer sin cambios es de 76%. El cambio de cobertura más probable para el año 2011 es de la clase ‘manglar’ es hacia la clase ‘otros usos de suelo’ con un 12% de reprobabilidad de transición.

Tabla 5. Matriz de confusión del mapa producto de la clasificación de la imagen de 2007

Clasificación	Referencia							Exactitud de usuario	Error de comisión
	Agua	Manglar	Manglar afectado	Otra vegetación	Otros usos	Pueblos	Total		
Agua	30	6	0	0	0	0	36	83.3	16.7
Manglar	5	99	0	4	2	0	110	90.0	10.0
Manglar afectado	0	0	5	0	1	0	6	83.3	16.7
Otra vegetación	3	3	0	80	2	0	88	90.9	9.1
Otros usos	7	8	0	1	21	0	37	56.8	43.2
Pueblos	0	0	0	0	0	11	11	100.0	0.0
Total	45	116	5	85	26	11	288		
Exactitud productor	66.7	85.3	100.0	94.1	80.8	100.0			
Error de omisión	33.3	14.7	0.0	5.9	19.2	0.0			

3.5 Agentes de disturbio

La percepción sobre cambios y sobre reducción en la superficie de manglar fue mayor entre los habitantes entrevistados de Mahahual que los de Xcalak ($X^2=5.91$; G.L.=1; $p < 0.05$). En Mahahual, 23 habitantes (79 %) mencionaron que han notado cambios, y 22

de ellos (96 %) opinaron que hay menos manglar. En Xcalak, solo 13 habitantes (48 %) percibieron cambios, y 8 de ellos (62 %) consideraron que hay menos cantidad de manglar. No hubo relación entre el número de agentes de disturbio identificados con los años de residencia, la ocupación o el nivel educativo.

Como resultado de las entrevistas se obtuvo un total de 9 agentes de disturbio del manglar de franja (Tabla 6). Los agentes más frecuentemente mencionados por los habitantes locales fueron la deforestación de zonas de manglar para ‘la construcción de caminos’ y para ‘la construcción de casas’ (Tabla 6). El número de agentes mencionados por los entrevistados fue mayor en Mahahual que en Xcalak ($U= 225.5$; $Z= 2.72$, $p< 0.05$) (Tabla 6).

Los agentes exclusivos de Mahahual fueron la extracción de leña, la contaminación, la delimitación de predios y la interrupción de flujos de agua entre el manglar y el mar. Por otra parte, el agente deforestación de zonas de manglar para construcción de caminos fue más frecuentemente mencionado en Mahahual que en Xcalak ($X^2= 13$; $g.l.= 1$; $p< 0.05$) (Tabla 6). El grupo de entrevistados que mencionó más agentes de disturbio para la zona fue ‘otros habitantes’ (Fig. 5), pero no hubo diferencia significativa ($H [5, N= 56]= 8. 27$; $p> 0.05$) con respecto a los otros grupos de entrevistados.

Tabla 6. Agentes de disturbio del manglar mencionados por los habitantes de Mahahual (n= 29) y Xcalak (n=27). d.f=1, n.s= no significativo.

Agentes de disturbio	Mahahual	Xcalak	χ^2	P
Construcción de caminos	14	1	13.2	0.000
Deforestación para la construcción de casas	7	4	0.56	n.s
Huracanes	5	3	0.30	n.s
Contaminación	3	0	2.75	n.s
Deforestación para la construcción de hoteles	3	2	0.09	n.s
Interrupción de flujos de agua	3	0	2.75	n.s
Delimitación de predios	2	0	1.80	n.s
Extracción para leña	1	0	0.88	n.s
Deforestación para crear accesos a la playa	0	1	1.17	n.s

Algunas personas entrevistadas comentaron que la forma más común de deforestar el manglar es con el uso de maquinaria pesada; tales áreas son posteriormente rellenadas con arena, sargazo (pastos marinos y macroalgas varadas en la playa) y madera de los propios árboles talados. Durante las visitas a la zona de estudio también registramos algunos agentes antropogénicos y naturales mencionados en las entrevistas. Por ejemplo, la

deforestación de manglar en brechas para la delimitación de terrenos privados, la deforestación para construcción de hoteles, la construcción de caminos, y el impacto de un huracán (Dean) (Fig. 6). Con respecto a la construcción de caminos, cabe mencionar que existen dos caminos paralelos a la costa, los cuales comunican a los poblados principales de la zona. El primero, muy próximo a la playa (generalmente no más allá de 100 m), en algunas partes cruza zonas de manglar, mientras que el segundo, una carretera con una distancia variable de 1 a 3 km de la costa, cruza algunos ambientes de humedal, como selva inundable y manglar chaparro.

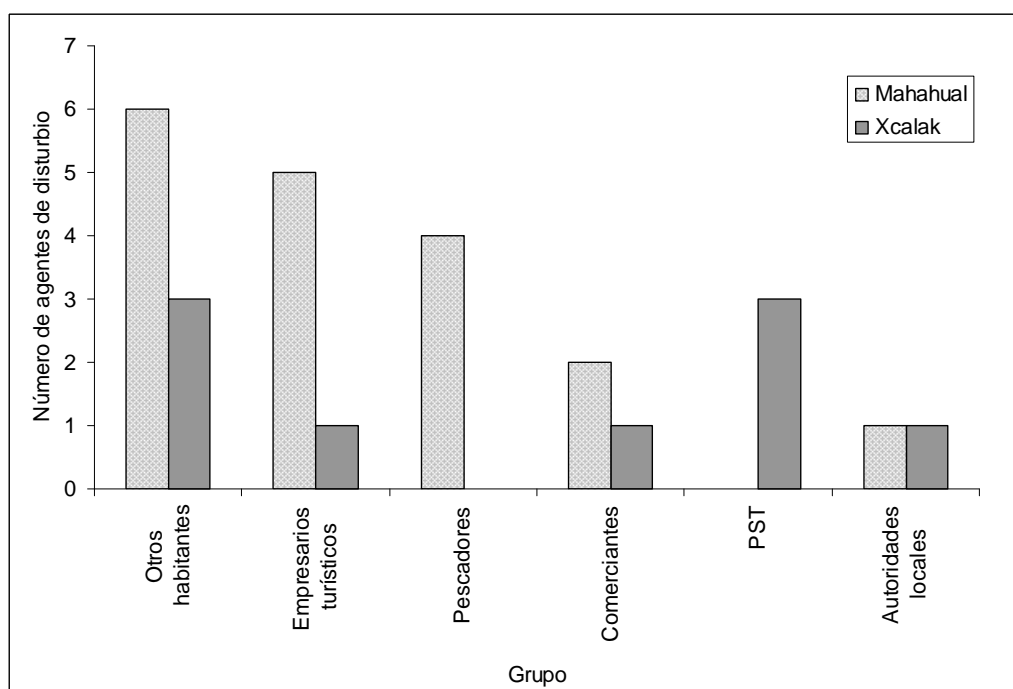


Figura 5. Número de agentes de disturbio percibidos por grupo de habitantes de las localidades Mahahual y Xcalak.

3.6 Servicios ambientales

Las personas entrevistadas mencionaron un total de 18 servicios ambientales recibidos del manglar de franja (Tabla 7). En ambas localidades se mencionaron 16 servicios ambientales. Hubo algunos servicios que fueron exclusivos por localidad: de Mahahual la ‘protección del salitre’ y la ‘leña’, mientras que de Xcalak el ‘empleo como guía de investigación científica’ y ‘protección del oleaje’ (Tabla 7). El servicio más frecuentemente referido en las respuestas fue el paisaje, y aquellos menos referidos fueron la leña y la protección del oleaje. De los servicios reconocidos por los entrevistados, la mayoría es de tipo regulación (Tabla 7). Dentro del tipo cultural, las actividades

mencionadas como servicio recreación fueron la pesca de recreo, caminatas por senderos, paseos en la lanchas por canales y observación de aves; con respecto al servicio prestador de servicio turístico también se mencionaron el paseo por canales, la observación de cocodrilos y aves, y la pesca de liberación ('fly-fishing').



Figura 6. Agentes de disturbio del manglar observados en el área de estudio: A) creación de brechas para la delimitación de predios privados, B) deforestación para la construcción de hoteles, C) deforestación para la construcción de caminos y D) impacto del huracán Dean.

Hubo servicios más frecuentemente mencionados por los entrevistados en Xcalak que en Mahahual (Tabla 7); entre estos, el empleo como prestador de servicios turísticos ($X^2= 7.22$; g.l.= 1; $p< 0.05$), la protección a la costa de huracanes ($X^2= 7.08$; g.l.= 1; $p< 0.05$) y la estabilización de suelos ($X^2= 6.53$; g.l.= 1; $p< 0.05$). El grupo de personas entrevistadas que identificó más servicios ambientales (16 servicios) fue el de 'otros habitantes', y el que identificó menos fue el de comerciantes (10 servicios) (Fig. 7), aunque

no hubo diferencias significativas en el número de servicios identificados entre los grupos de entrevistados ($H [5, N= 56]= 0.87; p > 0.5$). No hubo relación entre el número de servicios ambientales identificados con los años de residencia, la ocupación o el nivel educativo.

Tabla 7. Servicios del ecosistema de manglar de franja percibidos por los habitantes de la zona Mahahual-Xcalak, Quintana Roo. * = Servicios que no se habían registrados con anterioridad para la zona de estudio. g.l.=1, Mahahual n=29, Xcalak n=27, n.s= no significativo.

Tipo de servicio	Servicio	Mahahual	Xcalak	χ^2	P
Aprovisionamiento	Leña	1	0	0.95	n.s
	Peces y otros animales	1	3	1.24	n.s
Cultural	Paisaje	28	26	0.00	n.s
	Recreación	10	6	1.03	n.s
	*Empleo como guías de investigación científica	0	2	0.43	n.s
	*Empleo como prestador de servicios turísticos	1	6	4.51	0.033
Regulación	Protección a la costa de huracanes	8	17	7.08	0.007
	Protección de vientos	20	13	2.50	n.s
	Protección de inundaciones	3	2	0.15	n.s
	Reducción de la erosión de la playa	1	4	2.22	n.s
	Protección del oleaje	0	1	1.09	n.s
	Protección del salitre	3	0	2.95	n.s
	Estabilización de suelos	17	24	6.63	0.010
	Mantenimiento de la calidad de agua	21	25	3.88	n.s
Soporte	Regulación del clima	26	24	0.01	n.s
	Abastecimiento de agua con nutrientes al arrecife de coral	24	25	1.24	n.s
	Refugio de fauna silvestre	23	24	0.95	n.s
	Hábitats de crianza de animales marinos	23	24	0.95	n.s

Los resultados de la búsqueda de servicios ambientales reportados por otros autores para la región están resumidos en la Tabla 8. El servicio más citado fue 'hábitat para fauna silvestre'. El trabajo de Kaplowitz (2000) fue el único especializado en el tema de servicios ambientales, y en el se mencionan algunos servicios diferentes a los del resto de los autores: belleza (paisaje), animales para consumo, recreación y protección de huracanes. En nuestro estudio identificamos dos servicios que no se habían registrado con

anterioridad: ‘empleo como guías de investigación científica’ y ‘empleo como prestador de servicios turísticos’ (Tabla 7 y párrafo anterior). Sumando los servicios percibidos por los habitantes locales y mencionados en la literatura, para el área de estudio se registraron 24 servicios del ecosistema manglar. Sin embargo, algunos de los servicios de tipo aprovisionamiento encontrados en la literatura es muy probable que no se reciban en la actualidad. Los pobladores dijeron usar en el pasado los siguientes servicios: leña para servicio doméstico, madera para construcción de casas, madera para elaborar carbón, tinte para redes de pesca y velas de embarcaciones, varas para pesca de langosta (con un gancho metálico en la punta) y ramas rectas usadas como palancas para navegar con lancha sin motor en aguas someras.

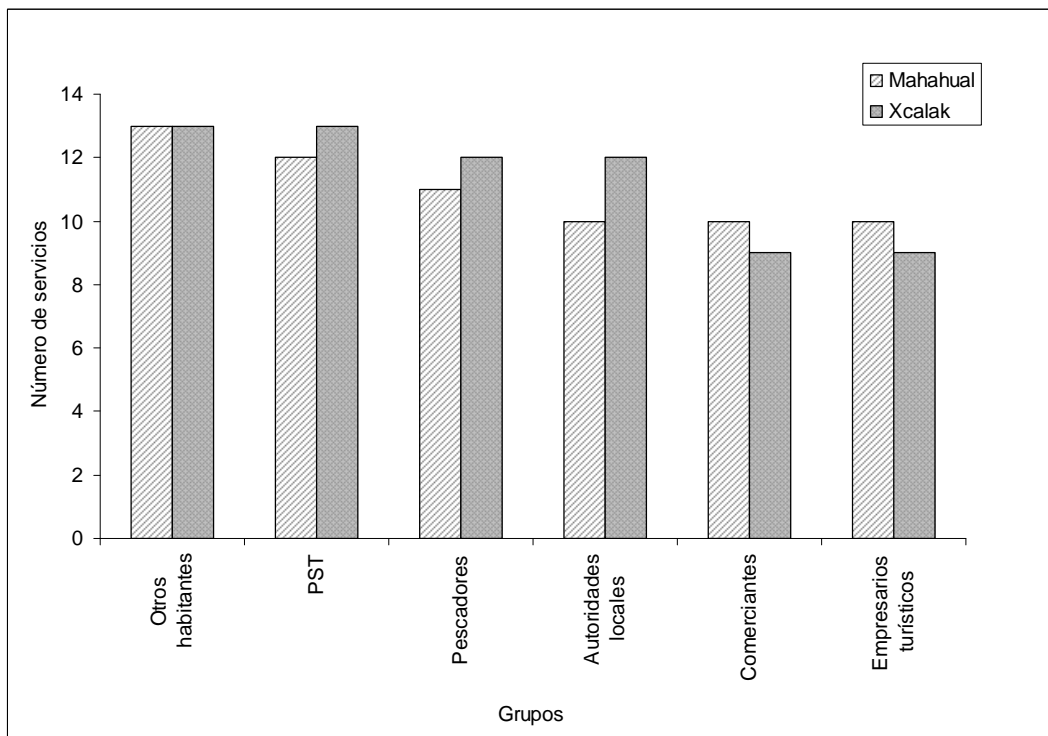


Figura 7. Número de servicios percibidos por grupo de personas entrevistadas en las localidades Mahahual y Xcalak.

Tabla 8. Servicios ambientales del manglar reportados por otros autores para la región de estudio.

Servicio	Lugar	Referencia
Protección de la brisa marina a vegetación menos tolerante a la salinidad	Zona sur de Quintana Roo	Sánchez-Sánchez <i>et al.</i> , 1991
Desalación de agua	Zona sur de Quintana Roo	Sánchez-Sánchez <i>et al.</i> , 1991
Formación de suelos	Zona sur de Quintana Roo	Sánchez-Sánchez <i>et al.</i> , 1991
Plantas medicinales	Península de Xcalak	Olivera-Gómez, 1996
Leña	Península de Xcalak	Olivera-Gómez, 1996
	Península de Xcalak	Macias-Cuella y Martínez-Castillo, 1994
Colorantes para teñir redes	Península de Xcalak	Macias-Cuella y Martínez-Castillo, 1994
Taninos para curtir pieles	Península de Xcalak	Macias-Cuella y Martínez-Castillo, 1994
Belleza o paisaje	Yucatán	Kaplowitz, 2000
Pesca	Yucatán	Olivera-Gómez, 1996
	Yucatán	Kaplowitz, 2000
Animales para consumo	Yucatán	Kaplowitz, 2000
Recreación	Yucatán	Kaplowitz, 2000
Protección de huracanes	Yucatán	Kaplowitz, 2000
Madera	Península de Xcalak	Macias-Cuella y Martínez-Castillo, 1994
	Península de Xcalak	Olivera-Gómez, 1996
	Yucatán	Kaplowitz 2000
Hábitat de fauna silvestre	Península de Yucatán	Trejo-Torres <i>et al.</i> , 1993
	Zona sur de Quintana Roo	Sánchez-Sánchez <i>et al.</i> , 1991
	Quintana Roo	Sosa-Cordero <i>et al.</i> , 1993
	Quintana Roo	Granados-Sánchez <i>et al.</i> , 1998
	Yucatán	Kaplowitz, 2000
	Yucatán	Vega-Cendejas, 2004
	Quintana Roo	WWF, 2007

4. DISCUSIÓN

4.1 Cambios de cobertura

Algunos cambios observados en las clases de cobertura terrestre pueden deberse a errores en el proceso de clasificación de las imágenes. El cambio de la clase 'otro tipo de vegetación' a 'manglar' y viceversa, posiblemente es el resultado de confusión entre estas dos clases de cobertura terrestre. En algunos sitios del área de estudio la selva baja inundable (considerada en la clase 'otro tipo de vegetación') está aledaña al manglar de franja y dada sus características espectrales similares, este tipo de selva pudo ser clasificada como 'manglar'. Los cambios entre la clase 'otros usos de suelo' y 'manglar', y

‘agua’ y ‘manglar’, observados en el sistema lagunar de la parte sur del área de estudio, puede deberse a la temporalidad de las clases de cobertura presente en esa zona. En este sistema lagunar hay suelo inundable, manglar chaparro y agua, y dependiendo la temporada climática (lluvias o secas) alguna clase está más expuesta que otra.

A pesar de los errores obtenidos en el análisis de cambios de cobertura, el análisis de cambio post-clasificadorio es más exacto que otros métodos (Mas 1999) y tiene la ventaja de proveer una matriz con información de los cambio de coberturas, así como de reducir los impactos externos que puedan generarse de las diferencias atmosféricas y ambientales de las imágenes de diferentes fechas (Lu *et al.*, 2004). En relación al método supervisado para la clasificación de las imágenes, este ha sido el más usado en estudios de manglar (Green *et al.*, 1998) y tiene como ventaja, sobre el método no supervisado, que el usuario establece las categorías de cobertura terrestre de interés (Chuvieco, 2002). También, es preciso destacar que las imágenes Landsat han sido frecuentemente utilizadas en estudios de cambios de cobertura de manglar (Kovacs *et al.*, 2001; Alonso-Pérez *et al.*, 2003; Hernández-Cornejo *et al.*, 2005; Berlanga-Robles y Ruiz-Luna, 2007; Liu *et al.*, 2008) y han mostrado ser más exactas que otras imágenes (p. ej. SPOT) para discriminar a los manglares de otras coberturas terrestres, esto gracias a su alta resolución espectral y resolución espacial adecuada para identificar a los manglares (Green *et al.*, 1998; Gao, 1999).

4.2 Fiabilidad global del mapa temático de 2007

Se ha sugerido que basarse en mapas con exactitud o fiabilidad desconocida para tomar decisiones de manejo puede provocar acciones inapropiadas o innecesarias (Green *et al.*, 1998), por lo que la obtención de valores numéricos que representa la exactitud de un mapa se vuelve una necesidad. La fiabilidad global obtenida para el mapa de 2007 (85%) se considera aceptable ya que, una exactitud total mayor a 85% es definida como el objetivo en una evaluación de exactitud global (Strahler *et al.*, 2006). En relación al Coeficiente de Kappa calculado, podemos decir que la clasificación fue mejor en un 79% que lo esperado al azar; el valor obtenido en este trabajo (0.79) representa un ‘acuerdo moderado’ entre los datos de referencia y la clasificación de la imagen (Congalton y Green, 1999); y, dado que un valor de $K=1$ indica un acuerdo pleno entre el mapa y la realidad (Chuvieco, 2002), nuestro resultado sugiere una buena clasificación de la imagen.

En otros trabajos donde se hicieron análisis multi-temporales con imágenes satelitales Landsat, en ambientes de humedal, y usaron el método supervisado para la

clasificación de las imágenes, se han obtenido porcentajes de fiabilidad de 78% a 92% y valores de K de 0.69 a 0.90 (Alonso-Pérez *et al.*, 2003; Hernández-Cornejo *et al.*, 2005; Berlanga-Robles y Ruiz Luna, 2006, 2007), y dado que, los valores que obtuvimos están en el rango de esos resultados se sustenta que la clasificación de la imagen de 2007 sea aceptable.

Una de las ventajas de construir una matriz de confusión es que se pueden detectar las deficiencias y exactitudes de cada una de las coberturas terrestres clasificadas en la imagen. Las exactitudes de 100 % al clasificar las clases ‘manglar afectado por el huracán Dean’ y ‘pueblos’ en el mapa de 2007 se deben a que fueron digitalizadas manualmente. En el caso del ‘manglar afectado por el huracán Dean’ esta clase también se distinguió por el estado de defoliación del manglar.

Los errores en una matriz de confusión, es decir, las diferencias entre la realidad y el mapa temático, son atribuidos a cuatro causas principales: 1) errores en los datos de referencia o verificación, 2) sensibilidad del sistema de clasificación para observar variabilidad, 3) tecnología de sensores remotos inapropiada y, 4) error en el mapeo (Congalton y Green, 1999). Los errores obtenidos en la clasificación de la imagen 2007 pueden deberse a las causas 1 y 2. Los ‘errores en los datos de referencia’ puede ser producto de algunos cambios que hubo en la cobertura terrestre entre la fecha de la obtención de datos de referencia (proceso de verificación) y la obtención de la imagen satelital. Algunos datos de referencia fueron obtenidos en los meses de junio y julio de 2008, meses comprendidos en la temporada de lluvias para la región (mayo a octubre) (Vidal-Zepeda, 2005); la imagen Landsat fue capturada en el mes de diciembre de 2007, durante la temporada seca (noviembre a abril) (Vidal-Zepeda, 2005). Por lo anterior, algunas zonas inundables, que están incluidas en la clase ‘otros usos de suelo’, pudieron haber cambiado a la clase a ‘agua’. Esto explica el error de comisión de la clase ‘otros usos’ y el error de omisión de clase ‘agua’.

Referente al error ‘sensibilidad del sistema de clasificación para observar variabilidad’, Congalton y Green (1999) mencionan que los esquemas de clasificación asignan límites discretos en condiciones continuas de la naturaleza. Así, algunos sitios del área de estudio fueron muy heterogéneos; por ejemplo, las zonas inundables con vegetación, por lo que algunas clases como ‘agua’, ‘otro tipo de vegetación’, ‘otros usos’ y ‘manglar’ estaban mezcladas y no era posible obtener una clasificación exacta. Un posible resultado de este error podrían ser los cambios de ‘manglar’ a ‘otros usos’ (manglar a suelo expuesto) alrededor de las lagunas de la parte sur del área de estudio. Entonces, parte de las

654 ha que abarcó esta clase de cambio de cobertura podría representar una sobrestimación de la pérdida de manglar estimada para el área de estudio.

4.3 Agentes de disturbio

La creación de caminos fue uno de los agentes de disturbio con más influencia en la pérdida de manglar en la zona de estudio. Este agente fue observado durante las visitas de campo, estuvo frecuentemente registrado en las entrevistas y fue evidenciado en el análisis de las imágenes (como parte de la clase ‘otros usos de suelo’). Fue percibido con más frecuencia en Mahahual, en comparación a Xcalak, seguramente porque unos meses antes de realizar las entrevistas se había construido un camino que cruzó áreas de manglar detrás de ese pueblo. La creación de caminos entre zonas de manglar ya ha sido reportado para la zona de estudio (Trejo-Torres *et al.*, 1993) y sus efectos negativos en el ecosistema de manglar han sido evidenciados en otros lugares del estado de Quintana Roo (López-Portillo y Escurra, 2002). Una de las consecuencias de la construcción de caminos entre zonas de manglar, que podría presentarse en la zona, es la modificación de hidroperiodos y regímenes de salinidad, que finalmente produce la muerte lenta de grandes extensiones de manglar (Lugo y y Snedaker, 1974; Tovilla-Hernández y Orihuela-Belmonte, 2002).

Debido a que en la parte posterior de la zona de estudio se encuentra un sistema lagunar bordeado de manglar, la construcción de caminos, o cualquier otra construcción que modifiquen la hidrología de estos sistemas, puede causar severos daños. Para el futuro desarrollo de la zona, será necesario que se construyan vías de comunicación buscando el menor impacto en los manglares, o por lo menos, respetando lo establecido en el artículo 4.2 de la NOM-022-SEMARNAT-2003 que señala las especificaciones para la conservación de los manglares en México: “la construcción de vías de comunicación cercanas al flujo del humedal costero deberá incluir drenes y alcantarillas que permitan el libre flujo del agua ...Se deberá dejar una franja de protección de 100 m como mínimo la cual se medirá a partir de los límites del derecho de vía al límite de la comunidad vegetal...” (SEMARNAT, 2003).

La deforestación de manglar para la construcción de casas, el otro agente de disturbio frecuente en la zona, estuvo representado por la clase de cobertura pueblos, una de las clases con mayor aumento en los 12 años que comprendió el estudio. Este tipo de construcción, principalmente en Mahahual, es consecuencia del incremento de las actividades turísticas en la zona. El crecimiento poblacional en un 89% en el periodo 2000-2005 coincidió con el inicio de las actividades en el muelle para cruceros turísticos en el

2001, como parte del Proyecto Turístico Costa Maya (Fondo Nacional de Fomento al Turismo 2008), que dada la oferta de trabajo, propició la inmigración de personas y trajo consigo la necesidad de construir viviendas.

Además de que la población de Xcalak se ha mantenido estable, esta localidad es parte de un Área Natural Protegida (Parque Nacional Arrecifes de Xcalak), lo cual propicia una mayor regulación del uso de suelo y una mejor conservación de los recursos naturales que en Mahahual. Lo anterior explica que los habitantes de Xcalak hayan identificado menos agentes de disturbio y reportan una menor pérdida de manglar que los entrevistados de Mahahual. Cabe mencionar que la percepción de mayor pérdida de manglar en Mahahual pudo ser influenciada por el reciente paso del huracán Dean que afectó aproximadamente 750 ha de manglar en la zona.

Otro suceso que merece atención en el área de estudio es la delimitación de terrenos supuestamente privados en zonas de manglar. Existen dudas acerca esta situación, ya que varias brechas fueron hechas recientemente (com. pers., R. Herrera-Pavón 2008) y probablemente sean invasiones, o podrían ser predios que antes de la aparición de la primera medida legislativa para la protección de los manglares en 1999 (SEMARNAP, 1999) tenían un dueño. Es necesario hacer una investigación al respecto y aclarar cual es estado legal de esas zonas de manglar, para posteriormente buscar soluciones en los casos en que las zonas de manglar sean propiedad privada y haya interés de desarrollo por parte de los propietarios de los terrenos.

4.4 Tasa de deforestación y proyección de cambio de cobertura

La tasa de deforestación de manglar encontrada en este estudio (0.95%) es mayor que las registradas en otros lugares el país (Alonso-Pérez *et al.*, 2003; Berlaga-Robles y Ruiz-Luna, 2006, 2007), cuyos valores van desde 0.03% hasta 0.64%, siendo este último valor es más alto registrado en la región noroeste de México hasta el año 2007 (Berlaga-Robles y Ruiz-Luna, 2007). También, la tasa calculada es más alta que la estimada recientemente para los alrededores de la Bahía de Chetumal (0.65%) por Diaz-Gallegos y Acosta-Velázquez (en prensa). Sin embargo, nuestra estimación es cercana a la tasa de deforestación calculada para la zona norte del estado de Quintana Roo (1.05%) durante el periodo 1970-1990 (Pérez-Villegas y Carrascal, 2000), y a la tasa de deforestación estimada para la región del Caribe (1%) (Ellison y Farnsworth, 1996).

Para la zona costera del Caribe mexicano no hay estimaciones de la tasa anual de cambio de la cobertura del manglar, pero se ha sugerido que esta región presenta una tasa

de deforestación más alta que la región del Pacífico Mexicano y la del Golfo de México (com. pers. Dirzo, 1994 In: López-Portillo y Ezcurra, 2002). Esta degradación es evidente desde hace más de una década y ha sido atribuida al desarrollo urbano y turístico de la región, principalmente en la zona norte del estado de Quintana Roo (Trejo-Torres *et al.*, 1993; Pérez-Villegas y Carrascal, 2000; Arriaga-Cabrera *et al.* 1998; CONABIO, 2008). Por ejemplo, a partir de datos del trabajo de Pérez-Villegas y Carrascal (2000), en el periodo 1970-1990 se calcula una tasa de deforestación de 1.05 % para Cancún, deforestación atribuida al desarrollo turístico.

El resultado de ese cálculo es más cercano al valor que encontramos para la zona sur del estado, y ambos nos muestran que la deforestación de manglar en la región del Caribe mexicano ha sido intensa y puede seguir siéndolo si continúa la implementación de los planes de desarrollo para el estado de Quintana Roo, en los que se enfatiza a la actividad turística como el eje central de desarrollo económico hasta 2011 (SEPLADER, 2005; SECTUR, 2007), y no se toman medidas precautorias para la conservación y rehabilitación de los ecosistemas de manglar. Si la tendencia de pérdida de cobertura de manglar se mantiene, en cuatro años se perderían el 14% del manglar presente en 1995, equivalente a 1, 078 ha. Según las predicciones del modelo 'Markov', basadas en los cambios que hubo de 1995 a 2007, el cambio más probable de la cobertura de manglar sería a la clase de cobertura 'otros usos', que podrían ser caminos o claros de vegetación producto del crecimiento urbano en la zona.

El hecho de que en la zona se prevea un gran desarrollo turístico y que gran parte de la extensión del manglar se encuentre en la zona costera, son factores que vuelven extremadamente vulnerable a este ecosistema. Cabe mencionar que expertos reunidos recientemente por la CONABIO (2008) consideraron importante dar prioridad a las acciones de conservación y rehabilitación en Costa Maya (incluyendo la zona de estudio) (CONABIO, 2008) por lo que se espera que localmente se tomen en cuenta y en el corto plazo inicien acciones encaminadas a proteger el manglar de los efectos del desarrollo inminente en la región.

4.5 Servicios ambientales

El número de servicios ambientales que dijeron recibir del manglar los habitantes locales (18), es un poco más de la mitad de los servicios atribuidos a este ecosistema (29) (Ewel *et al.* 1998; UNEP-WCMC, 2006; Sanjurjo-Rivera y Welsh-Casas, 1995; Moberg y Rönnbäck, 2003). Algunos servicios ambientales mencionados en la literatura, son difíciles

de percibir por las personas, como aquellos que no son tangibles o que no tienen valor en el mercado (Sanjurjo-Rivera y Welsh-Casas, 1995; Acharya, 2002). Algunos ejemplos de estos servicios son: el mantenimiento de la biodiversidad y recursos genéticos, filtrado de agua, información científica, formación de suelos y sustento de pesquerías. Contrario a estos, existen servicios ambientales muy populares y ampliamente reconocidos en trabajos especializados en el tema (Ewel *et al.*, 1998; Moberg y Rönnbäck, 2003; UNEP-WCMC, 2006), como el servicio hábitat para fauna silvestre, que fue el más citado en las referencias regionales.

A diferencia de otros trabajos de ámbito local donde se han identificado un mayor número de servicios ambientales de tipo ‘aprovisionamiento’ (Kaplowitz, 2000; Rodríguez *et al.*, 2006), la mayoría de los servicios reconocidos en este trabajo es de tipo ‘regulación’. Este poco reconocimiento de servicios de aprovisionamiento puede deberse a que actualmente los habitantes de la zona Mahahual-Xcalak obtienen este tipo de servicios de la selva adyacente, p.ej. leña, animales para consumo y madera para construcciones.

En Xcalak, la selva mediana subperenifolia y el manglar fueron los dos tipos de vegetación que más se explotaron en el pasado (Macias-Cuella y Martínez-Castillo, 1994; Olivera-Gómez, 1996), sin embargo, las regulaciones impuestas por la legislación ambiental vigente (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003; Ley General de Vida Silvestre, 2008), que restringe el uso directo del manglar, y la condición del lugar como parque nacional, originan que las personas ya no usen el manglar como fuente de aprovisionamiento. En Mahahual, a diferencia de Xcalak, no existen lagunas ni canales cercanos al poblado a los cuales se pudiera tener acceso fácil a productos del manglar, por lo que suponemos que los habitantes de esta localidad nunca tuvieron una dependencia de los servicios de aprovisionamiento del manglar.

El servicio ‘paisaje’ o valor estético, el más reconocido por los habitantes locales, es frecuentemente mencionado en la literatura especializada en servicios ambientales del ecosistema de manglar (Ewel *et al.*, 1998; Kaplowitz, 2000; Moberg y Rönnbäck, 2003; Sanjurjo-Rivera y Welsh-Casas, 2005). Además de que los habitantes locales reciben directamente este servicio, también les permite ofrecer servicios turísticos como paseos en lancha por canales entre el manglar, pesca de liberación en lagunas rodeadas de manglar y avistamiento de aves y cocodrilos. Particularmente en Xcalak, el servicio cultural empleado como prestador de servicios turísticos está directamente relacionado con el servicio paisaje, y ambos son recibidos gracias al fácil acceso y cercanía a canales y lagunas rodeados de manglar.

El servicio ‘protección del salitre’ ya se había reportado en una ocasión para la zona de estudio (Sánchez-Sánchez *et al.*, 1991) y en este estudio fue mencionado exclusivamente por habitantes de la localidad de Mahahual que viven en la parte posterior del manglar de franja. Fue importante entrevistar a los pobladores después del paso del huracán Dean, cuando ellos estaban más conscientes de este servicio. Uno de los entrevistados mencionó que era notorio el exceso de sal en la vegetación de su solar, y el otro temía por su cosecha agrícola dada una posible salinización del suelo. Por otra parte, el servicio ‘empleo como guía de investigación científica’, en Xcalak (aunque se sabe que esporádicamente también se ofrece en Mahahual), es el resultado de los diversos proyectos de investigación que instituciones académicas de la península de Yucatán llevan a cabo en este sitio. Desde la fecha de la creación del Parque Nacional Arrecifes de Xcalak’, en 2004, hasta la fecha se han llevado a cabo aproximadamente 30 proyectos de investigación (com. pers., A. Vega-Zepeda, 2008), además, es una de las actividades permitidas y fomentadas dentro del Área Natural Protegida.

Es importante destacar que los trabajos que mencionan algunos servicios de aprovisionamiento otorgados por el manglar de la zona como plantas medicinales, colorantes para teñir redes, taninos para curtir pieles y madera para construcción (Macias-Cuella y Martínez-Castillo, 1994; Olivera-Gómez, 1996) tienen más de 10 años de haberse realizado, lo que nos sugiere que en la actualidad probablemente ninguno de estos servicios se sigue recibiendo en la zona. Además, con las entrevistas pudimos constatar que años atrás las personas recibían más servicios de aprovisionamiento, que en su mayoría coinciden con los anteriormente mencionados.

La degradación actual y futura del ecosistema de manglar de franja en la zona Mahahual-Xcalak puede tener repercusiones en la calidad y cantidad de los servicios ambientales que actualmente se reciben de él. Debido a que los servicios ambientales son producto de las funciones de los ecosistemas, la modificación de un ecosistema pueden resultar en la degradación o incluso, la pérdida de un servicio (MEA, 2005; Carpenter, 2006). En el área de estudio, la conversión de zonas de manglar puede repercutir en la pérdida de servicios de ‘soporte’, que a su vez sustentan los servicios de ‘regulación’, ‘culturales’ y de ‘aprovisionamiento’.

El conjunto de servicios ambientales que se registraron en este estudio evidencia lo valioso que es el ecosistema de manglar para los habitantes locales, sin embargo, todos esos servicios solo se pueden aprovechar a largo plazo si se mantienen íntegras las funciones de los ecosistemas. Sumado al impacto directo que tendría la pérdida de

servicios ambientales en los habitantes locales (p. ej. la falta de protección de huracanes y vientos), otros ecosistemas de la zona, como los arrecifes de coral y las praderas de pastos marinos, podrían ser severamente afectados, ya que estos tres ecosistemas son interdependientes y tienen numerosas interacciones físicas, biológicas y biogeoquímicas (Moberg y Rönnbäck, 2003). A su vez, el efecto negativo en los arrecifes de coral y las praderas de pastos marinos también traería como consecuencia la degradación de sus servicios ambientales.

La pérdida o disminución de la calidad de algunos servicios ambientales de estos ecosistemas, como ‘paisaje’ y ‘hábitat de animales’, serían perjudiciales para la economía del lugar pues esta depende principalmente de la pesca y el turismo. Con relación a la pesca, se sabe que varias especies de invertebrados comerciales de la zona, como la langosta espinosa (*Panulirus argus* Latreille) y el caracol rosado (*Strombus gigas* L.), y peces comerciales, como el pargo (*Lutjanus* sp. Bloch), se crían en los pastos marinos y manglares (Sosa-Cordearo *et al.*, 1993; Trejo-Torres *et al.*, 1993). En cuanto al turismo, entre sus diversas actividades se incluyen buceos en el arrecife de coral y la pesca deportiva. En otras palabras, las dos principales actividades económicas del presente y a largo plazo en la zona costera sur de Quintana Roo dependen de la condición de salud que se mantengan los manglares, los lechos de pastos marinos y los arrecifes coralinos.

4.6 Sugerencias para la conservación del ecosistema de manglar de franja

Una estrategia de manejo óptima del ecosistema de manglar debería reconocer que los servicios del ecosistema pueden ser muy significativos para el bienestar humano (Acharya, 2002). Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez (1999) sugieren como una solución a la problemática que enfrentan los manglares (deterioro e impacto ambiental) demostrar algunos servicios ambientales como la función amortiguadora de carga orgánica, de estabilización de la erosión litoral, del papel ecológico como hábitat crítico, su valor para las pesquerías artesanales, y el ecoturismo. También, mencionan que es necesario mejorar el conocimiento de la sociedad acerca de los atributos, bienes y servicios que otorgan los manglares, y mitigar la vulnerabilidad de los manglares frente al estrés impuesto por los humanos.

En el caso de la zona estudiada es muy evidente lo importante que es el manglar para el bienestar de los habitantes de la zona Mahahual-Xcalak y este debe ser el argumento principal para optar por actividades económicas compatibles con la conservación de este ecosistema. Algunas actividades económicas de ese tipo ya existen en la zona, como, el

ecoturismo; sin embargo, es necesario fomentarlas y convencer a los tomadores de decisiones que este tipo de actividades son más redituables en el largo plazo, en lo económico y en lo ambiental, que aquellas actividades que impactan severamente el ambiente, como el turismo masivo.

Respecto a la recomendación de aminorar la vulnerabilidad de los manglares frente al estrés impuesto por los humanos, esta puede ser factible en la zona de interés. Después de que en el presente estudio se identificaron los agentes de disturbio de origen antropogénico, el siguiente paso sería mitigarlos por medio de la aplicación de la legislación ambiental vigente que protege a los manglares, como la NOM-022-SEMARNAT y la Ley de Vida Silvestre (2008).

La valoración económica de los servicios ambientales del manglar es una estrategia que puede ayudar a que la toma de decisiones esté a favor de la conservación del manglar de la zona Mahahual- Xcalak (Muñoz-Piña, 1994; Agüero-Negrete, 1999; Janssen y Padilla, 1999; Acharya, 2002; Sanjurjo-Rivera y Welsh-Casas, 2005). Sanjurjo-Rivera y Welsh-Casas (2005), por ejemplo, mencionaron que cuando los beneficios de un proyecto, que implique un cambio de uso de suelo de manglar, sean menores a los beneficios que resulten de un estudio de valoración económica de beneficios del ecosistema, será motivo suficiente para no llevar a cabo dicho proyecto. Pero si los beneficios del proyecto son mayores, no será argumento válido para realizarlo, ya que los métodos de valoración económica pueden estar omitiendo algunos servicios del manglar difíciles de valorar por no tener precio en el mercado, por ejemplo, la protección a la costa. Los mismos autores recomiendan usar algunas herramientas de política en caso de que se decida convertir alguna zona de manglar a otro uso de suelo. Las herramientas propuestas son la compensación directa a los beneficiarios del ecosistema y proyectos de mitigación en especie; dichos proyectos pueden ser de restauración o conservación de ecosistemas colindantes, con el fin de compensar los servicios prestados por el ecosistema afectado.

Alongi (2002) resumió varias estrategias de conservación, similares a las propuestas por Hamilton y Snedaker (1984). Entre las estrategias mencionadas encontramos las siguientes que pueden ser aplicadas para la zona Mahahual- Xcalak:

- Deben ser claramente identificados e implementados objetivos de manejo específicos y prácticos.
- Debe haber una zona de amortiguamiento (buffer) entre los manglares y desarrollos industriales, habitacionales y turísticos adyacentes.

- Deben ser requeridos para todos los proyectos de desarrollo evaluaciones de impacto ambiental y estudios de viabilidad; y deben ser establecidos controles estrictos para evitar la contaminación.

Otras estrategias de conservación que pueden ser implementadas para la zona son algunas recomendadas por Lugo (2002) para manglares cercanos a tierras desarrolladas:

- Mantener el régimen hidrológico natural tanto como sea posible.
- Evadir caminos, diques u otras estructuras que interrumpan el flujo de agua y desde los bosques de manglar.
- Mantener dunas y barreras de arena, y arrecifes de coral, los cuales protegen a los manglares de la acción excesiva de las olas.
- Esforzarse por implementar estrategias de manejo que resulten en usos y productos múltiples de los manglares, evadiendo esquemas de uso único.
- Cuando se lleven a cabo análisis de costo-beneficio, siempre considerar a los usuarios locales y los valores no comerciales de los manglares, y la contribución de los manglares a los procesos ecológicos.

En los casos en que los ecosistemas de manglar han sido dañados por eventos naturales o antropogénicos, como el manglar aledaño a la localidad de Mahahual, existe la opción de rehabilitarlos. Los objetivos de llevar a cabo acciones de rehabilitación deben ser los siguientes: conservar los procesos ecológicos y la diversidad genética, mejorar el paisaje, obtener un sistema de usos múltiples para una producción alta y sustentable, y proteger la zona costera (Field, 1999). Si se lleva a cabo la restauración del manglar cercano a Mahahual y se cumplen los cuatro objetivos mencionados, se recuperarían algunos servicios ambientales, como ya ha ocurrido en otros lugares del mundo (Walton *et al.*, 2006; Rönnbäk *et al.*, 2007).

Algunas consideraciones prácticas son necesarias antes de llevar un proyecto de rehabilitación de manglar. Entre estas consideraciones están: identificar la causa de degradación del sitio, identificar y seleccionar el sitio bajo el mejor criterio, determinar si las de semillas y plantas serán obtenidas del medio natural o viveros, y finalmente, el seguimiento de los resultados y el mantenimiento del ecosistema de manglar nuevo (Field, 1999; Melana *et al.*, 2000). Para que las acciones de restauración del manglar cercano a Mahahual sean exitosas, además de seguir las recomendaciones anteriores, será necesario involucrar a la comunidad (Field, 1999; Reyes-Chargoy y Tovilla Hernández, 2002), así como realizar estudios pertinentes, por ejemplo, estudios de genética de poblaciones de

manglar para asegurar la diversidad genética del manglar rehabilitado (Sandoval-Castro, 2008).

5. CONCLUSIONES

- ❖ La cobertura del manglar de franja de la zona Mahahual- Xcalak estimada para el año 1995 fue igual a 7,690 ha y para 2007 6,860 ha.
- ❖ Por medio del análisis multi-temporal se calcularon los cambios cobertura del manglar en los 12 años que abarcó el estudio y se encontró una pérdida de 830 ha, con un cambio alto hacia la clase de cobertura ‘otros usos’ que comprendió caminos, claros y suelo expuesto.
- ❖ El mapa temático del año 2007 tuvo una fiabilidad de global aceptable de 85% y un Índice de Kappa igual a 0.78 que indicó que el mapa fue mejor en un 78% que lo esperado al azar.
- ❖ La tasa de deforestación anual estimada fue igual a 0.95 % (equivalente a una pérdida anual de manglar de 67 ha), valor que resulta alto comparado con los obtenidos en el noroeste del país.
- ❖ Si la anterior tasa de deforestación se mantiene hasta el año 2011, se perderían el 14 % de manglar del que había en 1995, y el cambio más probable sería hacia la clase de cobertura ‘otros usos’.
- ❖ Se identificaron 9 agentes de disturbio del manglar en la zona, los más frecuentemente mencionados por los entrevistados fueron la ‘creación de caminos’ y la deforestación para la ‘construcción de casas’. El agente que más contribuyó a la pérdida de manglar fue la ‘creación de caminos’.
- ❖ Los habitantes de la zona Mahahual-Xcalak reciben actualmente 18 servicios ambientales del ecosistema de manglar de franja, en su mayoría de tipo ‘regulación’, y en el pasado recibían 4 más de tipo ‘aprovisionamiento’.

- ❖ Es necesario frenar el deterioro actual del ecosistema de manglar de franja en la zona Mahahual-Xcalak, con el fin de mantener la integridad de este ecosistema y de otros con los que interactúa (arrecifes de coral y praderas de pastos marinos), para lograr conservar todos los servicios ambientales que reciben los habitantes locales.
- ❖ Una acción urgente a realizar en la zona es restaurar el manglar dañado por el huracán Dean, con el fin de recuperar sus funciones ecológicas y en consecuencia, sus servicios ambientales.
- ❖ Se sugiere llevar a cabo actividades económicas compatibles con la conservación de los recursos naturales, como el ecoturismo, y mitigar los agentes de disturbio identificados en la zona por medio de la aplicación de la legislación ambiental vigente.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Acharya G. 2002. Life at the margins: The social, economic and ecological importance of mangroves. *Madera y Bosques* Número especial: 53-60.
- Agüero-Negrete M. 1999. Social and economic value of mangrove. A method for estimation and an example. In: Yáñez-Arancibia A. y A. L. Lara-Domínguez (eds.), *Ecosistemas de manglar en América Latina*. México, Instituto de Ecología-UICN/ORMA-NOAA/NMFS. 380 p.
- Allen A. J., K. C. Ewel y J. Jack. 2001. Patterns of natural and anthropogenic disturbance of the mangroves on the Pacific Island of Kosrae. *Wetlands Ecology and Management* 9: 279–289.
- Alongi M. D. 2002. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation* 29: 331–349.
- Alonso-Pérez F., A. Ruiz-Luna, J. Turner, C.A. Berlanga-Robles y G. Mitchelson-Jacob. 2003. Land cover changes and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon system, Sinaloa, Mexico. *Ocean Coast. Manage.* 46: 583-600.
- Arriaga-Cabrera L., E. Vázquez-Domínguez, J. González-Cano, R. Jiménez-Rosenberg, E. Muñoz-López y V. Aguilar Sierra. 1998. *Regiones Prioritarias Marinas de México*.

- México D.F., Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 198 p.
- Banko G. 1998. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data and of Methods Including Remote Sensing Data in Forest Inventory. Interim report. International Institute for Applied Systems Analysis, Australia, 36 p.
- Berg S. 1986. Random Contact Processes, Snowball Sampling and Factorial Series Distributions. *Journal of Applied Probability*, 20: 31-46.
- Berlanga-Robles C. A. y A. Ruiz-Luna. 2007. Análisis de las tendencias de cambio del bosque de manglar del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava, México. Una aproximación con el uso de imágenes de satélite LANSAT. *Universidad y Ciencia* 23: 29-46.
- Berlanga-Robles C. A. y A. Ruiz-Luna. 2006. Evaluación de los cambios en el paisaje del sistema estuarino de San Blas, Nayarit, México por medio del análisis de imágenes de satélite Landsat MSS. *Cienc. Mar.* 32: 523-538.
- Camarena-Luhrs T. 2003. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR), Parque Nacional Arrecifes de Xcalak. 30 p. http://ramsar.conanp.gob.mx/sitios_ramsar.html (Fecha de consulta: mayo de 2007).
- Camarena-Luhrs T. y S. I. Salazar-Vallejo (eds.). 1991. Área de estudio, Capítulo 2. Estudios ecológicos preliminares de la zona Sur de Quintana Roo. CIQRO, Chetumal, México, 231 p.
- Carpenter R. S., M. E., Bennett y D. G., Peterson. 2006. Scenarios for ecosystem services: An overview. *Ecol. Soc.* 11: 29.
- Chuvienco S.E. 2002. Teledetección ambiental. Ariel S.A., España, 592 p.
- CONABIO. 2008. Lista preliminar de sitios. Reunión de consulta para la identificación de sitios de manglar de relevancia biológica y sitios con necesidades de rehabilitación ecológica para la Región Península de Yucatán y el estado de Tamaulipas. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/sitios_lista_spl.pdf (Fecha de consulta: noviembre de 2008).
- CONABIO. 2008. Manglares de México. CONABIO, México. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/sitios.html#sitios>. (Fecha de consulta: febrero de 2008).
- CONANP-SEMARNAT. 2004. Programa de manejo Parque Nacional Arrecifes de Xcalak. Jaras Impresores, México, 162 p.

- Congalton R. G. y K. Green. 1999. Assessing the accuracy of remote sensed data: principles and practices. Lewis, E.U.A., 137p.
- Costanza R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farberk, S. Grasso, K. Limburg, S. Naeem, V. R. O'Neill, J. Paruelo, G. R. Raskin, P. Suttonkk y M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- De Jesús-Navarrete A. y J. J. Oliva-Rivera. 2002. Litter production of *Rhizophora mangle* in Bacalar Chico, Southern Quintana Roo, México. *Universidad y Ciencia* 18: 79-86.
- De Vaus D. A. 2002. *Surveys in social research*, 5th ed. Allen and Unwin, St. Leonards, NSW 369 p.
- Diaz-Gallegos, J. R. and J. Acosta-Velázquez. *En prensa*. Evaluación de la transformación del uso del suelo y la vegetación aledaña al Santuario del Manatí. In: Espinoza-Ávalos J., G. Islebe y H. A. Hernández-Arana (eds.) *El sistema ecológico de la bahía de Chetumal / Corozal: costa occidental del Mar Caribe*. ECOSUR, Chetumal, México.
- Duke N.C., J. O. Meynecke, S. Dittmann, A. M. Ellison, K. Anger, U. Berger, S. Cannicci, K. Diele, K. C. Ewel, C. D. Field, N. Koedam, S. Y. Lee, C Marchand, I. Nordhaus y F. Dahdouh-Guebas. 2007. A world without mangroves? *Science* 317: 41-42.
- Eastman J.R. 2006. *IDRISI Andes, Guide to GIS and imaging processing*. Clark University, E.U.A., 317 p.
- Ellison M. A. y J. E. Fearnsworth. 1996. Anthropogenic disturbance of Caribbean mangrove ecosystems: Past impacts, present trends, and future predictions. *Biotropica* 28(4a): 549-565.
- Ewel C. K., R. R. Twilley y E. J. Ong. 1998. Different kinds of mangrove forests provide different goods and services. *Global Ecology and Biogeography Letters* 7: 83-94.
- Ewens W. y G. Grant. 2006. Stochastic Processes (i): Poisson Processes and Markov Chains. In: Gail M., K. Krickeberg, J. Samet, A. Tsiatis y W. Wong (eds.), *Statistical Methods in Bioinformatics: An Introduction, Statistics for Biology and Health Series*, Springer, E.U.A., pp. 155-173.
- FAO. 2007. *Mangroves of North and Central America 1980-2005: country reports*, Working Paper 137. Forestry Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 34 p. <http://www.fao.org/forestry/40375/es/> (Fecha de consulta: octubre de 2008).

- Field C. D. 1999. Mangrove rehabilitation: choice and necessity. *Hydrobiologia* 413: 47–52.
- FONATUR. 2008. Proyectos, Costa Maya. [Http://www.fonatur.gob.mx/es/Des_Costa/des-costa.asp](http://www.fonatur.gob.mx/es/Des_Costa/des-costa.asp). (Fecha de consulta: 03 de octubre de 2008).
- Forest Resources Assessment Working Paper No. 137. Rome. <http://www.fao.org/forestry/> (Fecha de consulta: octubre de 2008)
- Gao J.1999. A comparative study on spatial and spectral resolutions of satellite data in mapping mangrove forests. *International Journal of Remote Sensing* 20: 2823-2833.
- Gómez-Pot J. M. 2007. Informe de evaluación rápida de daños en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak por el paso del huracán Dean. CONANP, Quintana Roo, México, 6 p.
- Granados-Sánchez D., G. López-Ríos, F. D. J. Martínez y J. Martínez-Castillo. 1998. Los manglares de Quintana Roo. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 4: 253-265.
- Green C. y E. Penning-Rowsell. 1999. Inherent conflicts at the coast. *Journal of Coastal Conservation* 5: 153-162.
- Green E. P., C. D. Clark, P. J. Mumby, A. J. Edwards y A. C. Ellis. 1998. Remote sensing techniques for mangrove mapping. *Int. J. Remote Sensing* 19: 935-956.
- Hamilton S.L. y C.S. Snedaker. 1984. Handbook for mangrove area management. Environment and Policy Institute, E-W Cester, UICN, UNESCO, ONU. Paris, Francia. 123 pp.
- Hérmendez-Cornejo R., N. Koedam, A. Ruiz-Luna, M. Troell y F. Dahdouh-Guebas. 2005. Remote sensing and ethnobotanical assessment of the mangrove forest changes in the Navachiste-San Ignacio-Macapule lagoon complex, Sinaloa, Mexico. *Ecology and Society* 10: 16.
- Hogarth, J. P. 1999. *The Biology of Mangroves*. Biology of Habitats Serie, Orxford, Grn Bretaña, 228 p.
- INE. 2005. Evaluación preliminar de las tasas de pérdida de superficie de manglar en México. SEMARNAT-INE. [Http://www.ine.gob.mx/dgioece/con_eco/descargas/informe_manglar.pdf](http://www.ine.gob.mx/dgioece/con_eco/descargas/informe_manglar.pdf).(Fecha de consulta: septiembre de 2008).
- INEGI. 2000. Censo nacional de vivienda 2000. <http://galileo.inegi.gob.mx/website/mexico/viewer.htm?bsqTable=56&bsqField=CLAVE&bsqStr=230040111&TNam e =ITER2000&seccionB=mdm> (Fecha de consulta: enero de 2008).

- INEGI. 2005. Censo 2005. [Http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/conteo2005/localidad/iter/default.asp](http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/conteo2005/localidad/iter/default.asp). (Fecha de consulta: enero de 2008).
- Janssen J. y J. E. Padilla. 1999. Preservation or conversion? Valuation and evaluation of a mangrove forest in the Philippines. *Environmental and Resource Economics* 14: 297–331.
- Kaplowitz D. M. 2000. Identifying ecosystem services using multiple methods: Lessons from the mangrove wetlands of Yucatan, Mexico. *Agriculture and Human Values* 17: 169–179.
- Kovacs J. M., J. Wang y M. Blanco-Correa. 2001. Mapping Disturbances in a Mangrove Forest Using Multi-Date Landsat TM Imagery. *Environmental Management* 27:763–776.
- Lambin E. F. 1999. Monitoring forest degradation in tropical regions by remote sensing: some methodological issues. *Global Ecology and Biogeography* 8: 191-198.
- Laska G. 2001. The disturbance and vegetation dynamics: a review and an alternative framework. *Plant Ecology* 157: 77–99.
- Ley General de Vida Silvestre (LGVS). 2008. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Diario Oficial de la Federación, México, 47 p. <http://www.semarnat.gob.mx/LEYESYNORMAS/Pages/leyesdelsectorfederal.aspx> (Fecha de consulta: octubre de 2008).
- Liu K., X. Li, X. Shi y S. Wang. 2008. Monitoring mangrove forest changes using remote sensing and GIS data with decision-tree learning. *Wetlands* 28: 336–346.
- Loa-Loza, E. 1994. Los manglares de México: sinopsis general para su manejo. In: Suman D. O. (ed.), *El ecosistema de manglar en América Latina y la cuenca del Caribe: su manejo y conservación*. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami. Miami, E.U.A., pp. 144-151.
- López- Portillo J. y E. Ecurra. 2002. Los manglares de México: una revisión. *Maderas y Bosques* 27-51.
- Lu D., P. Mausel, E. Brondi Zio y E. Moran. 2004. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing* 25: 2365–2407.
- Lugo E.A. 2002. Conserving Latin American and Caribbean mangroves: issues and challenges. *Madera y Bosques*, Número especial: 5-25.
- Lugo E.A. y C.S. Snedaker. 1974. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5:39-64.

- Macias-Cuella H. y J. Martínez-Castillo. 1994. Estudio de las formas de producción rural de la península de Xcalak, Quintana Roo (Bajo un enfoque etnoecológico). Tesis de Licenciatura, U.N.A.M. México D.F., 112p.
- MEA. 2003. Ecosystems and Human Well-being, a framework for assessment. Island Press, Washington, DC., E. U. A., 245 p.
- MEA. 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. 137 p.
- Melana D.M., J. Atchue III, C.E. Yao, R. Edwards, E.E. Melana y H.I. Gonzales. 2000. Mangrove Management Handbook. Department of Environment and Natural Resources, Manila, Philippines through the Coastal Resource Management Project, Cebu City, Philippines. 96 p.
- Merediz, A. G. 2007. Resumen de un recuento preliminar de daños ocasionados por el huracán Dean en Quintana Roo, México. Amigos de Sian Ka'an A. C. 29 pp.
- Moberg F. y P. Rönnbäck. 2003. Ecosystem services of the tropical seascape: interactions, substitutions and restoration. *Ocean and Coastal Management* 46: 27–46.
- Muñoz-Piña C. 1994. Guía rápida para estimar el valor monetario de los beneficios ecológicos de los manglares. In: Suman O.D. (eds.), *El ecosistema de manglar en América Latina y la Cuenca del Caribe: su manejo y conservación*. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, Universidad de Miami, Miami Florida and The Tinker Foundation, E.U.A., pp 238-242.
- Olivera-Gómez A. Y. 1993. Modelo de Ordenamiento Ecológico de la Zona Sur de la Península de Xcalak, Quintana Roo. Tesis de maestría, ECOSUR. Chetumal, México. 134p.
- Palacio-Prieto J. L., M. T. Sánchez-Salazar, I. J. M. Casado, F. E. Propin, C. J. Delgado, M. A. Velázquez, B. L. Chias, A. M. I. Ortiz, S.J. González, F. G. Negrete, M. J. Gabriel y H. R. Márquez. 2004. Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía y Secretaría de Desarrollo Social, México. 161 p.
- Peraza-Buenfil F. G. 1999. La viabilidad tendencial y óptima para el desarrollo de Mahahual y Xcalak en Costa Maya. Chetumal, Quintana Roo. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Quintana Roo, Chetumal, México.

- Perez-Vilegas G. y E. Carrascal. 2000. El desarrollo turístico en Cancún, Quintana Roo, y consecuencias sobre la cubierta vegetal. *Investigaciones Geográficas*, 043: 145-166 p.
- POET-CM. 2006. Decreto mediante el cual se reforma el Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la región Costa Maya, Quintana Roo. Gobierno del Estado de Quintana Roo, Secretaria de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA), Universidad de Quintana Roo (UQROO), México, 178 p.
- Primavera J. A. 2006. Overcoming the impacts of aquaculture on the coastal zone. *Ocean and Coastal Management* 49: 531–545.
- Reyes-Chargoy M. A. y C. Tovilla-Hernández. 2002. Restauración de áreas alteradas de manglar con *Rhizophora mangle* en la Costa de Chiapas. *Madera y Bosques* Número especial: 103-114.
- Rodríguez C. L., U. Pascual y M.H. Niemeyer. 2006. Local identification and valuation of ecosystem goods and services from *Opuntia* scrublands of Ayacucho, Peru. *Ecol. Econ.* 57: 30– 44.
- Rönnbäk P., B. Crona y L. Ingwall. 2007. The return of ecosystem goods and services in replanted mangrove forests: perspectives from local communities in Kenya. *Environmental Conservation* 34: 313–32.
- Ruiz-Luna A., J. Acosta-Velázquez y C. A. Berlanga-Robles. 2008. On the reliability of the data of the extent of mangroves: A case study in Mexico. *Ocean and Coastal Management* 51: 342-351.
- Sánchez-Sánchez O., E. F. Cabrera-Cano, A. T. Torres-Pech, P. Herrera-Escudero, P. Serralta-Peraza y C. S. Gómez-Varela. 1991. Vegetación. In: Camarena-Luhrs T. y S. I. Salazar-Vallejo (eds.). *Estudios ecológicos preliminares de la Zona Sur de Quintana Roo*. CIQRO, Quintana Roo, México, p. 231-248.
- Sandoval-Castro E. 2008. Diversidad y estructura genética de las especies de mangle *Avicennia germinans* (L. y Stearn, 1958) y *Rhizophora mangle* (L., 1753), en el litoral del Estado de Sinaloa, México. Tesis de Maestría, UABC, Baja California, México, 52 p.
- Sanjurjo-Rivera E. y S. Welch-Casas. 2005. Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. *Gaceta Ecológica* 74: 55-68.
- SECTUR. 2007. Programa Sectorial de Turismo 2007-2012. Secretaria de Turismo, México, 72 p.

- SEMARNAP. 1999. Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-001-RECNAT-1999, Que establece las especificaciones para la preservación, conservación y restauración del manglar. Diario Oficial de la Federación, pp. 33-38.
- SEMARNAT. 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003, Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar. Diario Oficial de la Federación, pp 26-47.
- SEPLADER. 2005. Plan Estatal de Desarrollo 2005-2011. Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado de Quintana Roo, México, 78 p.
- Sosa-Cordero E., A. Medina-Quej, A. Ramírez-González, M. Domínguez-Viveros y W. Aguilar Dávila. 1993. Invertebrados Marinos Explotados en Quintana Roo. pp 709-734 In: Salazar-Vallejo S.I. y N.E. González (eds), Biodiversidad Marina y Costera de México. Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México, 865 p.
- Strahler A., L. Boschetti, G. M. Foody, M. A. Field, M. C. Hansen, M. Herold, P. Mayaux, J. T. Morisette, S. V. Stehman y C. Woodcock. 2006. Global Land Cover Validation: Recommendations for Evaluation and Accuracy Assessment Of Global Land Cover Maps, Report of Committee of Earth Observation Satellites (CEOS) - Working Group on Calibration and Validation (WGCV), Italia, 51 p.
- Torrescano N. y G. A. Islebe. 2006. Tropical forest and mangrove history from southeastern Mexico: a 5000 yr pollen record and implications for sea level rise. *Veget. Hist. Archaeobot.* 15: 191–195.
- Tovilla-Hernández C. y D. E. Orihuela-Belmonte. 2002. Manual de técnicas y métodos de restauración de zonas alteradas de manglares. Chiapas, México, ECOSUR, 96 p.
- Trejo-Torres J. C., R. Durán y I. Olmsted. 1993. Manglares de la Península de Yucatan. In: S. Salazar-Vallejo y N. E. González (eds.), Biodiversidad marina y costera de México. CONABIO, CIQROO. México, pp. 660-672.
- UNEP-WCMC. 2006. In the front line: shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs. UNEP-WCMC, Cambridge, U.K., 33 p.
- Valiela I., J. L. Bowen y J. K. York 2001. Mangrove forests: one of the world's threatened major tropical environments. *BioScience* 10: 807-815.
- Vega-Cendejas M.E. 2004. Ictiofauna de la Reserva de la Biósfera de Celestun, Yucatán: una contribución al conocimiento de su biodiversidad. *Anales del Instituto de Biología, Serie Zoología* 75:193-206.

- Vidal-Zepeda R. 2005. Región 11. Península de Yucatán. In: Vidal-Zepeda R (ed.), Las regiones climáticas de México. UNAM, México, pp. 189-210.
- Walton E. M. M., G. P. B. Samonte-Tan, J. H. Primavera; G. Edwards-Jones y L. L. Vay. 2006. Are mangroves worth replanting? The direct economic benefits of a community-based reforestation Project. *Environmental Conservation* 33: 335-343.
- World Wildlife Fund. 2007. Mayan Corridor mangroves. In: *Encyclopedia of Earth*. Eds. Cutler J Cleveland. Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment. http://www.eoearth.org/article/Mayan_Corridor_mangroves. (Fecha de consulta: octubre de 2008).
- Yáñez-Arancibia A., R. R. Twilley y A. L. Lara-Domínguez. 1998. Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. *Madera y Bosques* 4: 3-19.
- Yáñez-Arancibia A., y A.L. Lara-Domínguez. 1999. Los manglares de América Latina en la encrucijada. In: Yáñez-Arancibia A., y A.L. Lara-Domínguez (eds.) *Ecosistemas de manglar de América Tropical*. Instituto de Ecología, A.C., UICM/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring. MD, E.U.A. pp. 9-16.

7. ANEXOS

ANEXO I. Cuestionario aplicado en las entrevistas de los habitantes de la zona Mahahual-Xcalak



Proyecto de tesis: Degradación y servicios del ecosistema manglar en la zona Xcalak-Mahahual, Quintana Roo, México

Nombre del entrevistador: _____ Fecha: _____ Localidad: _____

Nombre del entrevistado: _____ Edad: _____

Años de residencia en la localidad: _____

Instrucciones al entrevistador

Este cuestionario está dirigido a hombres y mujeres mayores de edad, con residencia de al menos 10 años en la localidad. Lea las siguientes preguntas al entrevistado evitando las expresiones o comentarios que puedan favorecer alguna tendencia en las respuestas.

Los siguientes códigos serán usados para las preguntas sin respuestas. Escríbalos en el lado derecho de la pregunta.

NP= No se hizo la pregunta por no considerarse pertinente

NC= El entrevistado no contestó

NA= Según las instrucciones del cuestionario, la pregunta no aplica

Presentación

Mi nombre es Marina Hiraes, soy estudiante de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), un centro de investigación científica ubicado en la ciudad de Chetumal.

Estamos haciendo un trabajo en esta zona para saber cuánto manglar se ha perdido en los últimos 10 años y conocer cómo el manglar beneficia a las personas de esta localidad. Si tiene alguna duda respecto al trabajo no dude en preguntar.

Hemos decidido entrevistar a las personas que tienen muchos años viviendo en el pueblo porque sabemos que tienen un gran conocimiento acerca del lugar y entonces la información que nos puedan proporcionar será de gran ayuda para este trabajo.

A continuación le haré unas preguntas, usted tiene la libertad de no contestar alguna o no seguir con la entrevista. Cabe aclarar que la información que usted nos proporcione solamente se usará para este trabajo y sus datos personales no se darán a conocer en ningún momento.

Cuestionario

1. Frecuentemente se dice que los manglares son importantes por varias razones ¿Usted sabe por qué son importantes los manglares?

- a) Son refugio para la fauna (aves, peces, reptiles e insectos)
- b) Son parte de la naturaleza
- c) Benefician a los arrecifes de coral
- d) En el manglar se crían larvas de camarón, de langosta y peces
- e) Nada_____
- f) Otro_____

Tema I. Servicios del ecosistema

2. En muchos lugares las personas obtienen beneficios directamente del manglar. ¿Qué beneficios ha recibido usted del manglar? p. ej. :

- a) Leña ____
- b) Madera para hacer carbón ____
- c) Madera para construir techos o cercos ____
- d) Productos medicinales ____
- e) Peces u otros animales para comer ____
- f) Otro ____
- g) Ninguno ____

3. ¿Usted considera que el manglar le brindaba una vista o paisaje agradable?

- a) Sí ____
- b) No ____

4. ¿Usted ha realizado o realiza alguna actividad en los manglares? P. ej.:

- a) Caza ____
- b) Pesca ____
- c) Observación de aves ____
- d) Paseo caminando ____
- e) Paseo por canales en lancha ____
- f) Ninguna ____

5. ¿Usted piensa que el manglar es un atractivo para promover el turismo en el pueblo?

- a) Sí ____
- b) No ____

6. ¿Por qué el manglar es/ no es un atractivo para el turismo?

7. En algunos lugares las personas han usado los manglares para proteger sus embarcaciones de los huracanes (guardan sus lanchas entre los manglares), ¿Usted sabe si en el pueblo se ha utilizado para esto el manglar?

- a) Sí ____
- b) No ____

8. ¿Usted piensa que el manglar le da protección a la costa?

- a) Sí ____
- b) No ____

9. Si es así ¿de qué protege el manglar a la costa?

- a) De los huracanes ____
- b) De los nortes ____
- c) De los surestes ____
- d) De las inundaciones
- e) Otro ____

10. ¿Usted piensa que el manglar protege al monte o a la selva de los huracanes?

- a) Sí ____
- b) No ____

11. Los manglares realizan importantes funciones en la naturaleza y las personas se benefician de estas funciones. Estos beneficios son llamados servicios de los ecosistemas. A continuación le voy a mencionar algunas de estos servicios y por favor usted me dice si recibe alguno de ellos.

- a) El manglar mantiene al suelo estable porque sus raíces atrapan sedimentos ____
- b) El manglar mantiene el agua limpia porque atrapa los materiales suspendidos en el agua ____
- c) El manglar ayuda a regular el clima porque absorbe algunos gases del aire ____
- d) El manglar limpia el agua que después llega a los arrecifes de coral ____
- e) El manglar le brinda nutrientes a los arrecifes de coral ____
- f) En el manglar viven animales como anfibios, reptiles, aves y mamíferos ____
- g) En el manglar se crían las larvas de peces, de langostas y de otros animales marinos ____

Tema II. Degradación del manglar

12. En los últimos 10 años, ¿Usted ha notado algún cambio en la cantidad de manglar que está cerca del pueblo?

- a) Sí ____
- b) No ____ (Vaya a la pregunta 17)

13. ¿Piensa que hay menos manglar o más manglar que antes?

- a) Menos ____
- b) Más ____ (vaya a la pregunta 16)

14. Si hay menos manglar ¿de la siguiente lista cuál piensa usted que han sido las causas principales de que haya menos manglar?

- a) Construcción de casas ____
- b) Construcción de hoteles ____
- c) Construcción de caminos ____
- d) Corte de árboles para obtener madera para hacer techos o cercos ____
- e) Corte de árboles para obtener leña ____
- f) Contaminación por basura ____
- g) Interrupción de canales o flujos de agua entre el mar y los manglares ____
- h) Huracanes ____ (Vaya a pregunta 17)
- i) Otra causa: _____

15. Cuando se ha realizado la construcción de casas, hoteles o caminos, ¿usted recuerda cómo han limpiado esos terrenos? Es decir, ¿cómo han quitado el manglar?

- a) Lo cortan con maquinaria ____
- b) Lo queman ____
- c) Rellenan ____
- d) Otra ____

16. Si hay más manglar ¿cuál piensa que ha sido la causa principal de éste aumento?

- a) Reforestación ____
- b) Las personas ya no lo usan ____
- c) Hay leyes que lo protegen ____
- d) Otra causa _____

17. ¿Recuerda usted lugares cerca del pueblo donde antes había manglar y ahora hay otra cosa?

- a) Sí ____
- b) No ____ (Vaya a la pregunta 20)

18. ¿Me podría indicar dónde está ese lugar (p. ej. entre qué calles u otras referencias)?

19. ¿Qué hay ahora en lugar del manglar?

- a) Casas ____
- b) Hoteles ____
- c) Palapas ____
- d) Terreno baldío ____
- e) Otro ____

19b. ¿Recuerda usted si antes había canales que pasaban por el pueblo y comunicaban al manglar con el mar?

20. ¿Hasta que año asistió a la escuela?

21. ¿En qué trabaja actualmente?

22. ¿Algo más que quiera mencionar acerca del manglar que está cerca del pueblo?

Se le agradece al entrevistado por su cooperación.

Observaciones:

ANEXO II. Artículo

Land cover changes and ecosystem services of the fringe mangrove from Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, México

[*Hiraless-Cota Marina¹*](#), [*Julio Espinoza-Avalos¹*](#), [*Rodimiro Ramos-Reyes¹*](#), [*Birgit Schmook¹*](#), and [*Arturo Ruiz-Luna²*](#)

¹ El Colegio de la Frontera Sur

² Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C.

ABSTRACT

The coastal zone of Mahahual-Xcalak has been considered a priority due to its mangrove environment has been modified due to recent urban and touristic developments. A multi-temporal analysis using Landsat TM and ETM+ images of 1995 and 2007 was conducted to analyze the cover changes of the mangrove fringe. The 12-year period of the analysis showed that 830 ha of mangrove were lost, with an annual deforestation rate of 0.95%, a relatively high value compared to other mangrove regions of Mexico. The main changes of mangrove coverage were caused by Hurricane Dean and 'other land uses'. Nine disturbance agents of mangroves were found, the majority of anthropogenic origin. The main causes of mangrove loss were constructions of roads and buildings. 18 ecosystem services that local people receive from mangrove were identified by using interviews and reviewing studies about the region. The most common one was identified as 'landscape', which allows them to provide touristic services. Rehabilitation and conservation actions of mangrove environment in the Mahahual-Xcalak area are urgently needed to achieve a sustainable development of this coastal zone.

Keys words: *mangroves; disturbance agents; deforestation rate; mexican Caribbean; multi-temporal analysis; Landsat imagery.*

INTRODUCTION

Fringe mangroves are found in locations exposed to the open sea, as well as in protected sites such as bays and coastal lagoons. Because of their great structural development they form a well-defined fringe of vegetation along the coast (Lugo and Snedaker 1974, Trejo-Torres et al. 1993). Due to their location along coastal areas where there is intense human activity (Green and Penning-Rowsell 1999), this functional mangrove type is vulnerable to anthropogenic disturbance agents such as urbanization, road construction, pollution from oil and its products, development of tourism, aquaculture and timber extraction (Ellison and

Farnsworth 1996, Valiela et al. 2001). Additionally, they are affected by natural disturbance agents such as hurricanes and storms (Smith et al. 1994).

As a result of the disturbance agents, mangroves are under intense deforestation (Valiela et al. 2001) which may result in a loss of ecosystem services (UNEP-WCMC 2006), reducing the benefits that people receive, directly or indirectly, from the ecosystem functions (Millennium Ecosystem Assessment 2003, 2005) of the fringe mangrove. The ecosystem services which the mangrove provides to the surrounding communities are to: prevent soil and beach erosion, serve as a sink for carbon and nutrients, maintain and improve water quality, provide habitat for wildlife, protect the coastline from storm surges, waves and floods, and allow for recreation (Ewel et al. 1998, Moberg and Rönnbäck 2003, Sanjurjo-Rivera and Welch-Casas 2005, UNEP-WCMC 2006).

Mangrove zones are under a process of conversion to other land uses, with an annual loss of 1-2% worldwide (Duke et al. 2007); even though they provide important environmental services. This occurs despite the fact that mangroves are legally protected in some countries like Mexico (SEMARNAT 2003, Ley General de Vida Silvestre 2008). The lack of real recognition of the ecologic, economic and social importance of mangroves, as well as the benefits that this ecosystem provides is the main factors allowing for the conversion of mangroves areas to other land uses around the world (Acharya 2002). Moreover, the decision to reduce mangroves areas does not generally involve direct beneficiaries of the ecosystem services (Acharya 2002, Sanjurjo-Rivera and Welch-Casas 2005).

In Mexico there is a lack of precise data on the national mangrove coverage, so there is no certainty about their rate of loss over the past years, or the main threats they are facing (Ruiz-Luna et al. 2008, Fueyo 2008). Nonetheless, based on yet unverified information, it has been estimated that Mexico is one of the countries with the highest degree of mangrove deforestation in the North and Central America region (Yañez-Arancibia and Lara-Domínguez 1999, Ruiz-Luna et al. 2008, FAO 2007), with an estimated annual loss rate of between 1 and 2.5% (INE 2005).

López-Portillo and Ezcurra (2002) suggested that the annual loss rate of mangroves from the Mexican Caribbean coastal zone, where our study zone is located, is higher than the ones from the Mexican Pacific and the Gulf of Mexico zones. The Mexican Caribbean deforestation of mangroves was registered over a decade ago, and has been attributed to urban development and tourism-related activities, mainly in the northern zone of the state Quintana Roo, where there was a deforestation rate of 1.05% (value calculated from data given by Pérez-Villegas and Carrascal 2000). In a recent study has been estimated an annual deforestation rate of 0.65 % in the Chetumal bay in south zone of Quintana Roo (J. R. Diaz-Gallegos and J. Acosta-Velázquez, unpublished manuscript). However, for Quintana Roo there are not enough studies focused on estimating the coverage of mangrove, its disturbance agents, or the environmental services this vegetation provides to local residents. Trejo-Torres et al. (1993) mentioned two anthropogenic agents that affect the mangroves negatively: roads and highways that interrupt the flow of water to feed the mangroves. Granados-Sánchez et al. (1998) proposed refuge for wildlife as another mangrove ecosystem service.

Considering the aforementioned, the objectives of this study were to estimate the changes in fringe mangrove cover at the Mahahual-Xcalak zone over the period 1995-2007, to detect natural and anthropogenic disturbances agents that cause the degradation of this type of mangrove, and to identify the ecosystem services that the mangrove offers to local residents.

METHODS

Study area

The Mahahual-Xcalak zone is located in the southern part of the State of Quintana Roo, in the Othon P. Blanco municipality. The study area was delimited by the UTM coordinates X 425373.172 Y 2075309.736 m y X 411515.823 Y 2017267.893 m, NAD 27 Datum; zone 16 North (Fig. 1). It is a section of the Mahahual-Xcalak priority area assigned by the CONANP (2004), and belongs to the Caribbean region, characterized in Mexico by rapid tourism development that has led to the environmental modification of mangroves and other coastal environments (Arriaga-Cabrera et al. 1998). The study area includes much of the protected natural area "Parque Nacional Arrecifes de Xcalak", considered a Ramsar site (Camarena-Luhrs 2003, SEMARNAT 2004). In addition, it falls within the Mangrove Priority Site of Sian Ka'an-Xcalak, declared as such because of its biological relevance and the need to undertake immediate ecological rehabilitation in the area (CONABIO 2008).

Several ecosystems coexist with the mangroves of this zone, such as coral reefs, sea grasses, coastal lagoons, beach, rainforest and coastal dune vegetation (Sánchez-Sánchez et al. 1991, CONANP-SEMARNAT 2004). The types of mangroves found in the zone are: mixed, dwarf, riverine, peten, fringe, and island. The mangrove species that have been registered in the zone are: *Rhizophora mangle* L. (red mangrove), *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. (white mangrove), *Avicennia germinans* (L.) Stearn (black mangrove), and *Conocarpus erectus* L. (botoncillo mangrove; Granados-Sánchez et al. 1998).

In addition to anthropogenic sources of degradation, the mangroves in the study area are exposed to natural disturbance agents, such as storms and hurricanes, which are common in summer and autumn (Vidal-Zepeda 2005). The most recent hurricane to affect the study area was Dean, which hit on August 21, 2007 and severely damaged mangroves near the village of Mahahual.

Mahahual and Xcalak are the villages located in the study area, with a population of 252 y 282, respectively (INEGI 2005), not counting the floating population. The Mahahual village was founded in the early 1990s and its population grew 89% from 2000-2005 (INEGI 2000, INEGI 2005). The Xcalak population has been stable since 1980 (INEGI 2000, INEGI 2005). Fishing and tourism have been the principal economic activities in the zone, but there are government plans to promote tourism as the main industry in southern Quintana Roo.

Cover changes and deforestation rate

To estimate the change of mangrove cover over the last 12 years a multi-temporal analysis using images from Landsat TM (26 November 1995) and Landsat ETM (05 December 2007) (path 19, row 47) was undertaken. The images were geometrically corrected and projected to the zone 16 north of the Universal Transverse Mercator (UTM) system (datum NAD27). Then, the polygon of the study area was extracted from the original images.

The extracted images were classified using a supervised method which consists of delimiting groups of pixels (training sites) on the image that represent the different land cover (informational) classes. The numeric values for each training site permit the software to assign to each single pixel one land cover class through a decision rule (Chuvieco 2002), in this study was used the 'maximum likelihood' rule. The training sites to classify the 1995 image were obtained with the aid of vegetation and land use charts, scale 1: 250 000 (INEGI, series II, 1986-1988), and ground data collected with a Global Positioning System (GPS) Trimble Geo Explorer in 1995. Using high resolution images, the training sites for the 2007

image classification were obtained from SPOT 5 sensor (January 2006) and IKONOS-2 sensor (September 2006) images that covered a part of the study zone. In addition, ground data were obtained with a GPS Garmin (15 m typical position accuracy) in 2005 and 2007.

The classes identified in the images were: 'mangrove', 'other vegetation' (tropical dry forest, dune vegetation), 'other land uses' (roads, gaps), 'villages', 'water' and 'damaged mangrove by Hurricane Dean'. The classes 'damaged mangroves by Hurricane Dean' and 'villages' were digitalized over the images. The neighborhood filter (3x3) was applied to reduce the salt and pepper effect (scattered pixels).

Concordance with the 2007 classification outputs with reference data were estimated by calculating the overall accuracy and the Kappa coefficient (Chuvieco 2002). To estimate these accuracy indexes, 288 ground points were randomly selected for verification. The more accessible sites (49) were visited and the others (239) were visualized on recently captured images (13 February 2007) using the Google Earth Pro software.

The overall accuracy is obtained from the division of the total number of points classified correctly by the total number of sites checked (at field or over Google Earth Pro images). The estimated Kappa coefficient, κ , assesses if the classification has discriminated the classes of interest with a significantly greater accuracy than a classification that would have been obtained by random. κ is defined by the following formula:

<eqn#1>

where:

i= class

n= sample size

X_{ii} = points classified correctly

X_{i+} X_{+i} = total points of each class (Chuvieco 2002).

A multi-temporal post-classificatory analysis was done to determine land cover changes (Mas 1999, Lu et al. 2004). The analysis produces a numerical matrix with all the land cover classes' combinations from the maps of 1995 and 2007, also a thematic map with the resulting combinations, allowing us to see the changed area (hectares) from one class to another.

The deforestation rate (δ) was obtained using the formula given by Palacio-Prieto et al. (2004) which expresses the annual change in (mangrove vegetation) cover at the beginning of each year:

<eqn#2>

Where:

δ = rate of change (multiplied by 100 to be expressed on percentage)

S1= area occupied by mangroves at time 1

S2= area occupied by mangroves at time 2

n= number of years between time 1 and time 2

Disturbance agents and ecosystem services

Fifty-six semi-structured interviews (questionnaires with open and closed questions) were conducted (29 in Mahahual and 27 in Xcalak) in order to know how the local residents perceived the disturbance agents affecting the mangroves and the ecosystem services that they received from this ecosystem. The interviewed group represented ~10% of the total population of Mahahual and Xcalak, and was composed of 11 women and 45 men, averaging 49 years of age (range= 22-77). To compile information that coincides with the time period of the present study (1995 to 2007), the people selected for interviews had to have been living in the zone for at least ten years. The kind of sampling used was the *snowball*, which consists of firstly interviewing a key informant who provides names of other people who meet the interview criterion, these in turn provide more names and so on (Berg 1983, De Vaus 2002).

The ecosystems services registered from the interviews were classified into four types of services (Millennium Ecosystem Assessment 2005): provisioning (products obtained from ecosystems), cultural (nonmaterial benefits obtained from ecosystems), regulatory (benefits obtained from the regulation processes of ecosystems), and support (services needed for the production of the other ecosystem services). To complement the information obtained from the interviews, visits to damaged mangrove sites and the identification of disturbance agents were carried out in the field. Additionally, a bibliographic review concerning the ecosystem services of mangroves in the region was produced.

The U-Mann-Whitney test was used to compare the mean values of disturbance agents between villages. The Chi-square test was applied to analyze the differences in the frequency of ecosystem services and of disturbance agents between villages. All tests were done using the Statistica 6.0 software.

RESULTS

Cover changes and deforestation rate

The overall accuracy and the Kappa coefficient of the 2007 thematic map were 85% and 0.79, respectively. The fringe mangrove cover was around 7,690 ha in 1995, and 6,860 ha in 2007 (including the mangrove damaged by Hurricane Dean) (Fig. 2). We have an estimate of 830 ha absolute loss of mangrove from 1995 to 2007 in the Xcalak-Mahahual zone and an annual deforestation rate of mangrove 0.95%, equivalent to a yearly mangrove loss of 67 ha.

Besides mangrove loss during the time period of the study, the class 'other vegetation' decreased around 670 ha. In contrast, there were classes that increased their area: 'other land uses', 'water' and 'villages' (Table 1). The 'covers' and 'land uses' area conversion are shown in figure 3, with 'mangrove' to 'damaged mangrove by Hurricane Dean' as the largest change.

Disturbance agents and Ecosystem services

Nine disturbance agents of mangroves were identified from the interviews (Table 2). There were 10 interviews from Mahahual and 17 from Xcalak that did not mention agents. The most frequently mentioned disturbance agents were 'road construction' and 'deforestation to build houses'. During the visits to the damaged mangrove zone the following disturbance agents were observed: 'property boundaries' (narrow lanes traced inside the mangrove to mark out properties), 'deforestation to build hotels', 'road construction' and the 'impact of Hurricane Dean' (Fig. 4).

More disturbance agents were mentioned by the local residents of Mahahual than by the residents of Xcalak ($U= 244$; $Z= 2.41$, $P= 0.006$). Some agents were mentioned only by the people of Mahahual, such as ‘pollution’, ‘property boundaries’, ‘firewood extraction’, and ‘the disruption of waterways’. The ‘road construction’ agent was mentioned more frequently in Mahahual than in Xcalak ($\chi^2= 13.2$; $g.l.= 1$; $P= 0.000$) (Table 3).

The perception of mangrove cover loss was higher for interviewed residents from Mahahual than those of Xcalak ($\chi^2= 5.91$; $g.l.= 1$; $P= 0.015$). Thus, 96% of Mahahual residents noticed losses of mangrove area, contrasted to the 62% from Xcalak. The residents interviewed claimed that the deforested fringe mangrove sites were located around the road running along the coast and behind towns.

The people interviewed mentioned 18 ecosystems services that were received from the fringe mangrove, most of them of regulatory type (Table 3). There were 16 services mentioned in each village. Some services were exclusive to each village; the ‘sea breeze protection’ and ‘firewood’ services to Mahahual residents, while the ‘job as guide of scientific research’ went to Xcalak residents. The most frequent service registered in the interviews was ‘landscape’, whereas the ‘wave protection’ and ‘firewood’ were the least frequently mentioned (Table 3). Some ecosystem services had not been recorded before in the study zone: ‘job as guide of scientific research’ and ‘job as provider of tourism services’. There were some services provided in the past (mentioned by interviewees), such as wood to build houses, wood to produce charcoal, wood for lobster fishing (sticks with a metal hook on the tip), sticks to navigate on non-motorized boats (in shallow waters), and colorants to paint web fishing and sails boats.

The ecosystem service most often mentioned in previous regional studies was that of ‘wildlife habitat’ (Table 4). Kaplowitz’s (2000) study was the only one specifically undertaken on ecosystem services, and this author registered some services not mentioned by others, such as ‘beauty’ (landscape in this study), ‘animals for food’, ‘recreation’ and ‘hurricane protection’. The number of environmental services that have been and continue to be provided by mangrove ecosystems in the study region is 26, counting the ones registered by us (18), by other authors apart from us (3), and those used in the past and mentioned by interviewed residents of Mahahual and Xcalak (5).

DISCUSSION

The overall accuracy (85%) of the 2007 thematic map fulfills the objective of an overall accuracy assessment (Strahler et al. 2006). The resulting Kappa coefficient (0.79) also suggests a good map classification, considering that $\kappa= 1$ indicates full accordance between the map and reality (Chuvieco 2002). In addition, the κ value from our analysis is within the “almost perfect” accordance between the map and reality with regards to the values range proposed by Landis and Koch (1977). Other similar studies have calculated overall accuracy from 78% to 92% and κ values from 0.69 to 0.90 (Alonso-Pérez et al. 2003, Hernández-Cornejo et al. 2005, Berlanga-Robles and Ruiz-Luna 2006, 2007). Although it was not possible to estimate the accuracy of the 1995 thematic map (due to the lack of information available to do the analysis), it was assumed that its accuracy was similar to the 2007 map, so that the same procedure could be done to both maps (Berlanga-Robles and Ruiz-Luna 2002, 2006).

Despite the relatively good classification of the thematic map, some changes in land cover classes may be due to errors in the process of image classification. The change from ‘other vegetation’ to ‘mangrove’ and vice versa, are possibly due to the confusion between spectral

responses from both classes, hardly distinguishable even by photo interpretation. Some sites in the study area are in low land forests which are subjected to seasonal floods, with spectral signatures (characteristics) very similar to mangrove. These sites may be classified as mangrove. Also, the changes between the 'other land use', 'mangrove' and 'water' classes, observed in the lagoon systems of the southern part of the study area, could be the result of the habitat heterogeneity found in our study area. Here a mixture of flooded soil, dwarf mangrove, and water exists; a condition that adds a degree of uncertainty to the identification of classes in the map because the classification schemes assigns discrete boundaries to continuous conditions of nature (Congalton and Green 1999).

Despite the mistakes involved in the change analysis of cover classes, the approach that we followed, the post-classificatory analysis, is more accurate than other methods (Mas 1999), because classifications are independently achieved and their analysis provides a matrix with information on the cover changes and reduces the external 'noise' that could be produced by atmospheric and environmental differences on images from uneven dates (Lu et al., 2004). It was possible to detect the errors in the image classifications and obtain more accurate estimates in this study thanks to the matrix.

The annual mangrove deforestation rate calculated at (0.95%) is high in comparison to other places in Mexico with values ranging from 0.03% to 0.64% (Alonso-Pérez et al. 2003, Berlanga-Robles and Ruiz-Luna 2006, 2007), the last figure being the highest registered in the Pacific Ocean side of Mexico (Berlanga-Robles and Ruiz-Luna 2007). However, our estimation is virtually the same as the deforestation rate estimated for the northern part of Quintana Roo from 1970-1990 (1.05%; *see* Introduction) and to the rate calculated in general of the Caribbean region (1.0%; Ellison and Farnsworth 1996).

On the other hand, 'road construction' is major source of anthropogenic disturbance, causing mangrove loss in the study zone, with no or very low chance of natural recovery. This agent was observed during the field work, it was frequently mentioned in the answers of interviews, and it was verified with the image analysis. The construction of roads across mangrove zones as a disturbance agent of mangrove in Quintana Roo has been reported before (Trejo-Torres et al. 1993), and its negative effects have been shown by the disruption of hydro-periods and salinity regimens that lead to the slow death of big areas of mangrove (López-Portillo and Ezcurra 2002). 'Road construction' as a disturbance agent was recognized more by residents from Mahahual than Xcalak because some months ago, before this study was carried out, a new road was constructed behind the village of Mahahual.

The mangrove 'deforestation to build houses', another principal disturbance agent in the zone, was represented by the 'villages' class, with largest increment over the 12 years comprising this study. This disturbance agent is a consequence of the growth of tourism activities in the zone, mainly in Mahahual. The Mahahual population grew 89% from 2000 to 2005 due to the start of a tourism cruise dock operation at 2001. This development led to a burst in immigration and necessitated the construction of homes and buildings to provide services to tourists and immigrants. In contrast to Mahahual, the Xcalak population has been stable. It is a protected natural area (national park Arrecifes de Xcalak, CONANP) with better regulation of land use and conservation of natural resources. In turn, these differences help to explain why Xcalak residents identified less disturbance agents and less mangrove loss than Mahahual people. The high mangrove loss perceived by the Mahahual residents could also be influenced by the recent impact of Hurricane Dean that damaged about 750 ha of mangrove around that village.

Regarding the number of ecosystem services that mangroves provide to residents of our study region (26), it is comparable to the total ecosystem services attributed to this ecosystem at global level (29) (Ewel et al. 1998, UNEP-WCMC 2006, Sanjurjo-Rivera and Welsh-Casas 1995, Moberg and Rönnbäck 2003). Some ecosystem services mentioned by other authors and not mentioned by our interviewed residents are harder to identify, because they are less tangible (Sanjurjo-Rivera and Welsh-Casas 1995, Acharya 2002), for example, biodiversity conservation and genetic resources. However, some ecosystem services such as wildlife habitat are extensively recognized in studies treating this matter (Ewel et al. 1998, Moberg and Rönnbäck 2003, UNEP-WCMC 2006).

Contrary to other studies local in nature in which a larger number of provisioning services were identified (Kaplowitz 2000, Rodríguez et al. 2006), most of the recognized services in our study were of the regulatory type. The limited recognition by local residents of provisioning services from Mahahual-Xcalak mangroves may be due to the present fact that residents get those services (firewood, wild animals to eat and timber) from the adjacent rainforest.

At Xcalak, the medium subevergreen rainforest and the mangrove were the two types of vegetation that were most intensively exploited in the past (Macias-Cuella and Martínez-Castillo 1994, Olivera-Gómez 1996). However, the regulations imposed by current environmental legislation (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales 2003, Ley General de Vida Silvestre 2008) restrict the destructive use of the mangrove and the area's status as a national park has deterred the residents of this village from using the mangrove as a provisioning source. At Mahahual, unlike Xcalak, lagoons and channels do not exist near the town, limiting access to the mangrove products; for this reason we assume that residents from Mahahual never had a significant dependence on the mangrove's provisioning services.

The 'landscape' or aesthetic value was the service most recognized by local residents from Mahahual and Xcalak, and has been frequently mentioned in other studies as a mangrove's ecosystem service (Ewel et al. 1998, Kaplowitz 2000, Moberg and Rönnbäck 2003, Sanjurjo-Rivera and Welsh-Casas 2005). Local residents directly receive this service in their daily lives, but it also allows them to offer it as a tourism service in the form of boat trips through mangrove channels, catch-release fishing in lagoons surrounded by mangroves, as well as crocodile and bird-watching tours. Particularly in Xcalak, the cultural service 'job as provider of tourism services' is directly related to the 'landscape' service and both services are received there due to the easy access and proximity of channels and lagoon systems.

CONCLUSION

Our results show that the deforestation of the mangrove ecosystem at the Mahahual-Xcalak zone is high in relation to other regions of Mexico. It is clear that the ecosystem services identified by local residents, including those offered to tourists (with implications for the regional economy), can be lost if this rate of degradation continues. It is necessary to carry out research on the damages from Hurricane Dean on the hydrology and morphology of the mangrove and its subsequent recovery. Rehabilitation and conservation measures must be taken promptly, such as reforestation of the mangrove damaged by Hurricane Dean, and effective application of the environmental regulations in order to diminish the mangrove disturbance agents identified in this study. The measures must be focused on maintaining the integrity of the mangroves along with other coastal ecosystems such as coral reefs, bearing in mind the achievement of sustainable development in the Mahahual-Xcalak zone.

LITERATURE CITED

- Acharya, G.** 2002. Life at the margins: The social, economic and ecological importance of mangroves. *Madera y Bosques* Special number: 53-60.
- Alonso-Pérez, F., A. Ruiz-Luna, J. Turner, C. A. Berlanga-Robles, and G. Mitchelson-Jacob.** 2003. Land cover changes and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon system, Sinaloa, Mexico. *Ocean and Coastal Management* **46**:583-600.
- Arriaga-Cabrera, L., E. Vázquez-Domínguez, J. González-Cano, R. Jiménez-Rosenberg, E. Muñoz-López, and V. Aguilar Sierra.** 1998. *Regiones prioritarias marinas de México*. CONABIO, México D.F, México.
- Berg, S.** 1983. Random contact processes, snowball sampling and factorial series distributions. *Journal of Applied Probability* **20**:31-46.
- Berlanga-Robles, C. A., and A. Ruiz-Luna.** 2002. Land Use Mapping and Change Detection in the Coastal Zone of Northwest Mexico Using Remote Sensing Techniques *Journal of Coastal Research* **18**:514-522.
- Berlanga-Robles, C. A., and A. Ruiz-Luna.** 2006. Evaluación de los cambios en el paisaje del sistema estuarino de San Blas, Nayarit, México por medio del análisis de imágenes de satélite Landsat MSS. *Ciencias Marinas* **32**:523-538.
- Berlanga-Robles, C. A., and A. Ruiz-Luna.** 2007. Análisis de las tendencias de cambio del bosque de manglar del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava, México. Una aproximación con el uso de imágenes de satélite LANDSAT. *Universidad y Ciencia* **23**:29-46.
- Camarena-Luhrs, T.** 2003. *Ficha informativa de los humedales de Ramsar (FIR), parque nacional Arrecifes de Xcalak*. [online] URL: <http://ramsar.conanp.gob.mx/documentos/fichas/8.pdf>.
- Chuvieco, S. E.** 2002. *Teledetección ambiental*. First edition. Ariel S.A., Barcelona, España.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).** 2004. *Programa de manejo parque nacional Arrecifes de Xcalak*. Jaras Impresores, México D.F., México.
- Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO).** 2008. *Manglares de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D.F., México. [online] URL: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/manglaresMexico.pdf>
- Congalton, G. R., and K. Green.** 1999. *Assessing the accuracy of remote sensed data: Principles and practices*. Lewis, Florida, USA.
- De Vaus, D. A.** 2002. *Surveys in social research*. Fifth edition. Allen and Unwin, St. Leonards, NSW.
- Díaz-Gallegos, J. R. and J. Acosta-Velázquez.** *In press*. Evaluación de la transformación del uso del suelo y la vegetación aledaña al Santuario del Manatí. In Espinoza-Ávalos, J., G. Islebe and H. A. Hernández-Arana, editors. *El sistema ecológico de la bahía de Chetumal / Corozal: costa occidental del Mar Caribe*. ECOSUR, Chetumal, México.
- Duke N. C., J. O. Meynecke, S. Dittmann, A. M. Ellison, K. Anger, U. Berger, S. Cannicci, K. Diele, K. C. Ewel, C. D. Field, N. Koedam, S. Y. Lee, C. Marchand, I. Nordhaus, and F. Dahdouh-Guebas.** 2007. A world without mangroves? *Science* **317**: 41-42.

Ellison, M. A., and J. E. Fearnsworth. 1996. Anthropogenic disturbance of Caribbean mangrove ecosystems: Past impacts, present trends, and future predictions. *Biotropica* **28**:549-565.

Ewel, C. K., R. R. Twilley, and E. J. Ong. 1998. Different kinds of mangrove forests provide different goods and services. *Global Ecology and Biogeography Letters* **7**:83-94.

FAO. 2007. *Mangroves of North and Central America 1980–2005: country reports*. Forest Resources Assessment Working Paper No. 137. Rome. [online] URL: <http://www.fao.org/forestry/home/en/>.

Granados-Sánchez, D., G. López-Ríos, F. de J. Martínez, and J. Martínez-Castillo. 1998. Los manglares de Quintana Roo. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* **4**:253-265.

Green, C., and E. Penning-Rowsell. 1999. Inherent conflicts at the coast. *Journal of Coastal Conservation* **5**:153-162.

Hernández-Cornejo, R., N. Koedam, A. Ruiz-Luna, M. Troell, and F. Dahdouh-Guebas. 2005. Remote sensing and ethnobotanical assessment of the mangrove forest changes in the Navachiste-San Ignacio-Macapule lagoon complex, Sinaloa, Mexico. *Ecology and Society* **10**:16. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art16/>.

Instituto Nacional de Ecología (INE). 2005. *Evaluación preliminar de las tasas de pérdida de superficie de manglar en México*. SEMARNAT-INE. México D.F., México. [online] URL: http://www.ine.gob.mx/dgioece/con_eco/descargas/informe_manglar.pdf.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. *Censo nacional de vivienda 2000*. México D.F., México. [online] URL: <http://galileo.inegi.gob.mx/website/mexico/viewer.htm?bsqTable=56&bsqField=CLAVE&bsqStr=230040111&TName=ITER2000&seccionB=mdm>.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. *Conteo 2005*. México D.F., México. [online] URL: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/conteo2005/localidad/iter/default.asp?s=est&c=10395>

Kaplowitz, D. M. 2000. Identifying ecosystem services using multiple methods: Lessons from the mangrove wetlands of Yucatan, Mexico. *Agriculture and Human Values* **17**:169–179.

Landis, J. R. and G. G. Koch. 1977. The Measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* **33**:159-174.

Ley General de Vida Silvestre. 2008. Diario Oficial de la Federación, México D.F., México. [online] URL: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/Combo/L-157.pdf>

López-Portillo, J., and E. Ezcurra. 2002. Los manglares de México: una revisión. *Maderas y Bosques* Special number:27-51.

- Lu, D., P. Mausel, E. Brondi'Zio, and E. Moran.** 2004. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing* **25**:2365–2407.
- Lugo, E. A., and C. S. Snedaker.** 1974. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics* **5**:39-64.
- Macias-Cuella, H., and J. Martínez-Castillo.** 1994. *Estudio de las formas de producción rural de la península de Xcalak, Quintana Roo (bajo un enfoque etnoecológico)*. Thesis. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México.
- Mas, J. F.** 1999. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing* **20**:139–152.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA).** 2003. *Ecosystems and human well-being, a framework for assessment*. Island Press, Washington D.C, USA.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA).** 2005. *Ecosystems and human well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington D.C., USA.
- Moberg, F., and P. Rönnbäck.** 2003. Ecosystem services of the tropical seascape: interactions, substitutions and restoration. *Ocean and Coastal Management* **46**:27–46.
- Olivera-Gómez, A.Y.** 1996. *Modelo de ordenamiento ecológico de la zona sur de la península de Xcalak, Quintana Roo*. Thesis. El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, México.
- Palacio-Prieto, J. L., M. T. Sánchez-Salazar, I. J. M. Casado, F. E. Propin, C. J. Delgado, M. A. Velázquez, B. L. Chias, A. M. I. Ortiz, S. J. González, F. G. Negrete, M. J. Gabriel, and H. R. Márquez.** 2004. *Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía y Secretaría de Desarrollo Social, México D.F., México.
- Perez-Vilegas, G., and E. Carrascal.** 2000. El desarrollo turístico en Cancún, Quintana Roo, y consecuencias sobre la cubierta vegetal. *Investigaciones Geográficas* **43**:145-166.
- Rodríguez, C. L., U. Pascual, and M. H. Niemeyer.** 2006. Local identification and valuation of ecosystem goods and services from *Opuntia* scrublands of Ayacucho, Peru. *Ecological Economics* **57**:30– 44.
- Ruiz-Luna, A., J. Acosta-Velázquez, and C. A. Berlanga-Robles.** 2008. On the reliability of the data of the extent of mangroves: A case study in Mexico. *Ocean and Coastal Management* **51**:342-351.
- Sánchez-Sánchez, O., E. F. Cabrera-Cano, A. T. Torres-Pech, P. Herrera-Escudero, P. Serralta-Peraza, and C. S. Gómez-Varela.** 1991. Vegetación. Pages 231-248 in Camarena-Luhrs, T. and S. I. Salazar–Vallejos. *Estudios ecológicos preliminares de la Zona Sur de Quintana Roo*. CIQRO, Quintana Roo, México.
- Sanjurjo-Rivera, E., and S. Welch-Casas.** 2005. Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. *Gaceta Ecológica* **74**:55-68.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2003. *Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003. Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar.* Diario Oficial de la Federación, México D.F., México.

Smith, T. J., M. B. Robbleeh, R. Wanles, and T. W. Doyle. 1994. Mangroves, hurricanes, and lightning strikes. *BioScience* **44**:256-262.

StatSoft. 1998. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. StatSoft, Inc., Tulsa USA.

Strahler, A., L. Boschetti, G. M. Foody, M. A. Field, M. C. Hansen, M. Herold, P. Mayaux, J. T. Morisette, S. V. Stehman, and C. Woodcock. 2006. *Global land cover validation: Recommendations for evaluation and accuracy assessment of global land cover maps, Report of Committee of Earth Observation Satellites (CEOS).* Working Group on Calibration and Validation (WGCV), Italia.

Trejo-Torres, J. C, R. Durán, and I. Olmsted. 1993. *Manglares de la Península de Yucatan.* Pages 660-672 in Salazar-Vallejo, S. and N. E. González, editors. *Biodiversidad marina y costera de México.* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad- Centro de Investigaciones de Quintana Roo, Chetumal, México.

UNEP-WCMC. 2006. *In the front line: Shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs.* The United Nations Environment Programme, World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, UK.

Valiela, I., J. L. Bowen, and J. K. York. 2001. Mangrove forests: one of the world's threatened major tropical environments. *Bioscience* **51**:807-815.

Vidal-Zepeda, R. 2005. Región 11, Península de Yucatán. Pages 189-210 in Vidal-Zepeda, R., editor. *Las regiones climáticas de México.* Colección: Temas Selectos de Geografía de México Serie 1 UNAM. México D.F., México.

World Wildlife Fund (WWF). 2007. Mayan Corridor mangroves. in Cleveland, C. J., editor. *Encyclopedia of Earth.* Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment, Washington D.C., USA. [online] URL: <http://www.eoearth.org/article/%20Mayan%20Corridor%20mangroves>.

Yañez-Arancibia, A., and A. L Lara-Domínguez. 1999. Los manglares de América Latina en la encrucijada. Pages 9-16 in Yañez-Arancibia, A. and A. L Lara-Domínguez, editors. *Ecosistemas de manglar en América tropical.* Instituto de Ecología, A.C., México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS, Silver Spring, USA.

ATTACHMENTS

Figures captions

Fig. 1. Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, Mexico. The coastal zone in the dark gray polygon represents the study area.

Fig. 2. Land cover classes of the Mahahual-Xcalak zone in 1995 and 2007. Note the cover increase in ‘other land uses’ (mainly roads) and ‘villages’ classes.

Fig. 3. Covers and land uses area conversion in the Mahahual-Xcalak zone during the study period (1995-2007). A and B boxes show the cover changes in Mahahual and Xcalak, respectively.

Fig. 4. Disturbance agents observed in the study area: A) property boundaries, B) deforestation to build hotels, C) road construction, and D) impact of Hurricane Dean.

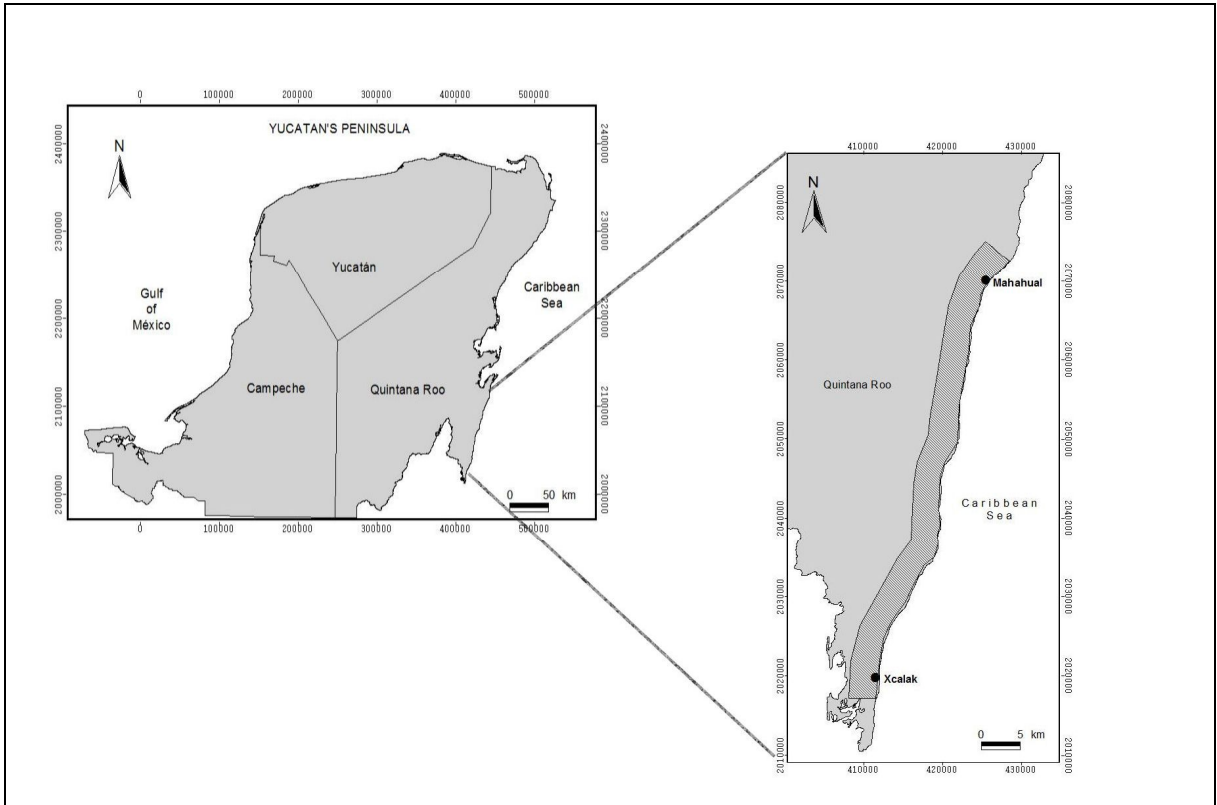


Fig. 1. Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, Mexico. The coastal zone in the dark gray polygon represents the study area.

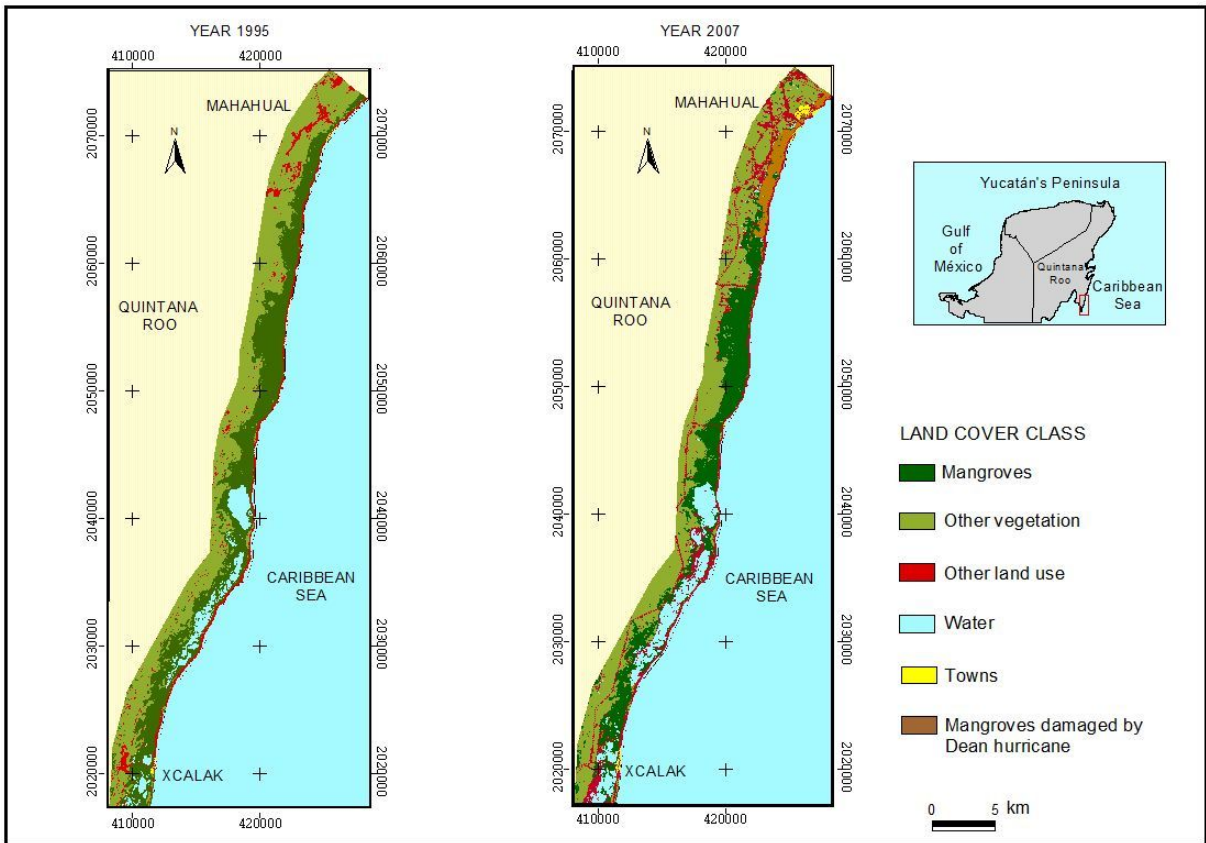


Fig. 2. Land cover classes of the Mahahual-Xcalak zone in 1995 and 2007. Note the cover increase in ‘other land uses’ (mainly roads) and ‘villages’ classes.

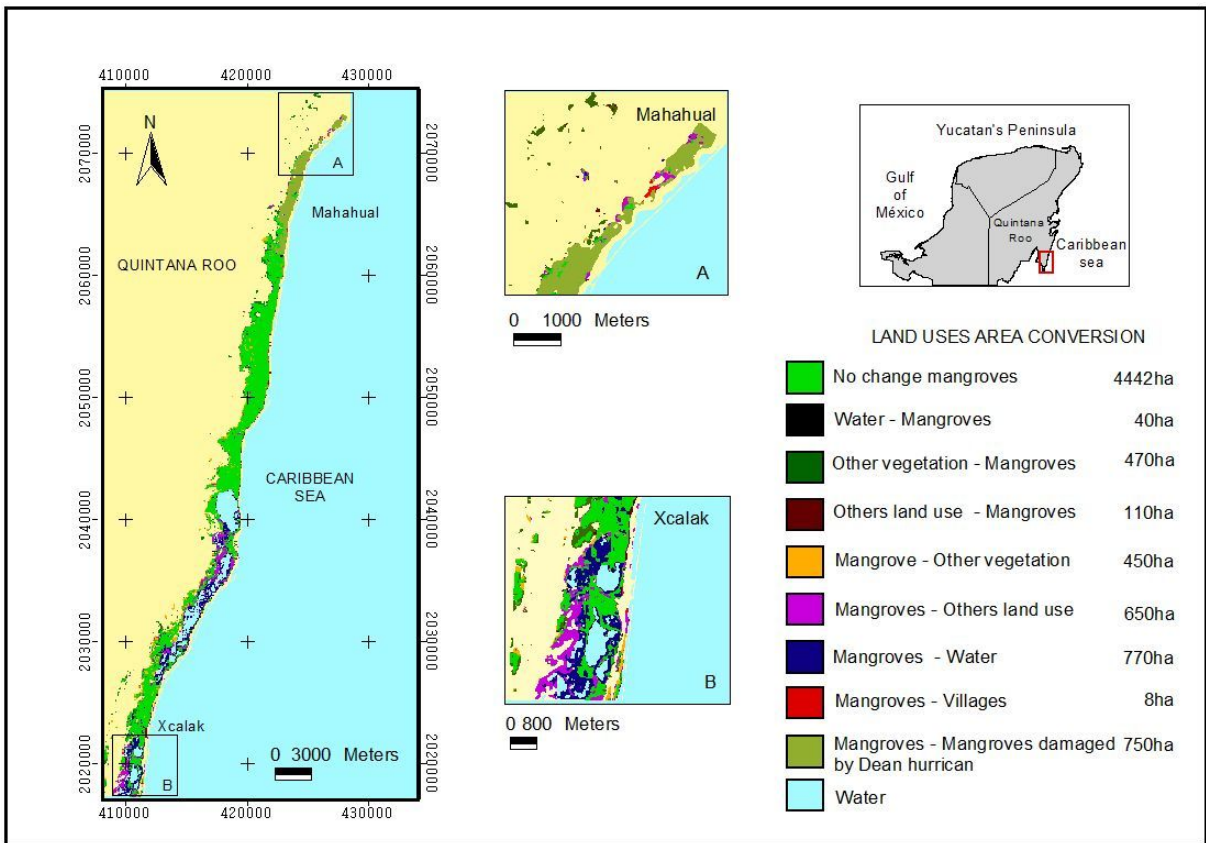


Fig. 3. Covers and land uses area conversion in the Mahahual-Xcalak zone during the study period (1995-2007). A and B boxes show the cover changes in Mahahual and Xcalak, respectively.



Fig. 4. Disturbance agents observed in the study area: A) property boundaries, B) deforestation to build hotels, C) road construction, and D) impact of Hurricane Dean.

Tables captions

Table 1. Areas of land cover class at 1995 and 2007 in the Mahahual-Xcalak zone. The ‘mangrove’ class of 2007 included the mangrove damaged by Hurricane Dean.

Table 2. Number of times disturbance agents of mangrove were mentioned by residents of Mahahual and Xcalak. Mahahual $n= 29$, Xcalak $n= 27$, $d.f= 1$, $n.s=$ no significativo.

Table 3. Number of times ecosystem services (clustered by type of service) received from fringe mangrove was mentioned by residents of Mahahual and Xcalak. Ecosystem services not registered before in the zone are indicated by an asterisk. $g.l.= 1$, Mahahual $n= 29$, Xcalak $n= 27$, $n.s.=$ not statistical significance.

Table 4. Ecosystem services received from mangroves and reported in previous regional studies. Ecosystem services not registered in our study are indicated by an asterisk.

Table 1. Areas of land cover class at 1995 and 2007 in the Mahahual-Xcalak zone. The 'mangrove' class of 2007 included the mangrove damaged by Hurricane Dean.

Land cover class	Area (ha)	
	1995	2007
Mangrove	7,690	6,860
Other vegetation	9,600	8,930
Other land uses	1,470	2,630
Water	1,860	2,590
Villages (settlements)	40	160

Table 2. Number of times disturbance agents of mangrove were mentioned by residents of Mahahual and Xcalak. Mahahual n= 29, Xcalak n= 27, d.f= 1, n.s= no significativo.

Disturbance agent	Mahahual	Xcalak	χ^2	P
Building roads	14	1	13.2	0.000
Deforestation to build houses	7	4	0.56	n.s
Hurricane impact	5	3	0.30	n.s
Deforestation to build hotels	3	2	0.09	n.s
Pollution	3	0	2.75	n.s
Hydrology disrupt	3	0	2.75	n.s
Delimitation of proprieties	2	0	1.80	n.s
Firewood extraction	1	0	0.88	n.s
Deforestation to build access to beach	0	1	1.17	n.s

Table 3. Number of times ecosystem services (clustered by type of service) received from fringe mangrove was mentioned by residents of Mahahual and Xcalak. Ecosystem services not registered before in the zone are indicated by an asterisk. g.l.= 1, Mahahual n= 29, Xcalak n= 27, n.s.= not statistical significance.

Type of service	Ecosystem service	Mahahual	Xcalak	χ^2	P
Provisioning	Firewood	1	0	0.95	n.s.
	Fishes and others animals	1	3	1.24	n.s.
Cultural	Landscape	28	26	0.00	n.s.
	Recreation	10	6	1.03	n.s.
	Job as guide of scientific research*	0	2	0.43	n.s.
	Job as provider of touristic services*	1	6	7.22	0.007
Regulating	Hurricane protection	8	17	7.08	0.007
	Wind protection	20	13	2.50	n.s.
	Flood protection	3	2	0.15	n.s.
	Reduction of soil erosion	1	4	2.22	n.s.
	Wave protection	0	1	1.09	n.s.
	Sea breeze protection	3	0	2.95	n.s.
	Stabilization of soil	17	24	6.63	0.010
	Improvement of water quality	21	25	3.88	n.s.
Supporting	Weather regulation	26	24	0.01	n.s.
	Supply of nutrients to coral reef	24	25	1.24	n.s.
	Shelter for wildlife	23	24	0.95	n.s.
	Nursery of marine fauna	23	24	0.95	n.s.

Table 4. Ecosystem services received from mangroves and reported in previous regional studies. Ecosystem services not registered in our study are indicated by an asterisk.

Service	Study area	Reference
Sea breeze protection	Southern Quintana Roo	Sánchez-Sánchez et al. 1991
Water desalting *	Southern Quintana Roo	Sánchez-Sánchez et al. 1991
Soil forming *	Southern Quintana Roo	Sánchez-Sánchez et al. 1991
Medical folk *	Xcalak peninsula	Olivera-Gómez 1996
Coloring for fishing nets	Xcalak peninsula	Macias-Cuella y Martínez-Castillo 1994
Tannins for tanning	Xcalak peninsula	Macias-Cuella y Martínez-Castillo 1994
Landscape (beauty)	Chelém and Chuburná, Yucatan	Kaplowitz 2000
Fishing	Xcalak peninsula	Olivera-Gómez 1996
	Chelém and Chuburná, Yucatan	Kaplowitz 2000
Animals for food	Chelém and Chuburná, Yucatan	Kaplowitz 2000
Recreation	Chelém and Chuburná, Yucatan	Kaplowitz 2000
Hurricanes protection	Chelém and Chuburná, Yucatan	Kaplowitz 2000
Firewood and wood	Xcalak peninsula	Olivera-Gómez 1996
	Xcalak peninsula	Macias-Cuella y Martínez-Castillo 1994
	Chelém and Chuburná, Yucatan	Kaplowitz 2000
Wildlife habitat	Chelém and Chuburná, Yucatan	Kaplowitz 2000
	Yucatan peninsula	Trejo-Torres et al. 1993
	Southern Quintana Roo	Sánchez-Sánchez et al. 1991
	Quintana Roo	Granados-Sánchez et al. 1998
	Quintana Roo	WWF 2007

Equations

Equation 1 <eqn#1>

$$\hat{\kappa} = \frac{n \sum_{i=1, n} X_{ii} - \sum_{i=1, n} X_i + X_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1, n} X_i + X_{+i}}$$

Equation 2 <eqn#2>

$$\delta = [S_2/S_1] 1/n - 1$$

ANEXO III. Normas editoriales de la revista

Ecology and Society



[Home](#) | [Archives](#) | [About](#) | [Login](#) | [Submissions](#) | [Subscribe](#) | [Contact](#) | [Search](#)

E&S HOME > ABOUT THE JOURNAL > EDITORIAL POLICIES

[Open Access Publishing](#)

Editorial Policies

[Focus and Scope](#)
[Section Policies](#)
[Peer Review Process](#)
[Publication Frequency](#)
[Open Access Policy](#)

Focus and Scope

Ecology and Society is an electronic, peer-reviewed, multi-disciplinary journal devoted to the rapid dissemination of current research. Manuscript submission, peer review, and publication are all handled on the Internet. Software developed for the journal automates all clerical steps during peer review, facilitates a double-blind peer review process, and allows authors and editors to follow the progress of peer review on the Internet. As articles are accepted, they are published in an "Issue in Progress." At six month intervals the Issue-in-Progress is declared a New Issue, and subscribers receive the Table of Contents of the issue via email. Our turn-around time (submission to publication) averages around 250 days

We encourage publication of special features. Special features are comprised of a set of manuscripts that address a single theme, and include an introductory and summary manuscript. The individual contributions are published in regular issues, and the special feature manuscripts are linked through a table of contents and announced on the journal's main page.

The journal seeks papers that are novel, integrative and written in a way that is accessible to a wide audience that includes an array of disciplines from the natural sciences, social sciences, and the humanities concerned with the relationship between society and the life-supporting ecosystems on which human wellbeing ultimately depends.

Content of the journal ranges from the applied to the theoretical. In general, papers should cover topics relating to the ecological, political, and social foundations for sustainable social-ecological systems. Specifically, the journal publishes articles that present research findings on the following issues: (a) the management, stewardship and sustainable use of ecological systems, resources and biological diversity at all levels, (b) the role natural systems play in social and political systems and conversely, the effect of social, economic and political institutions on ecological systems and services, and (c) the means by which we can develop and sustain desired ecological, social and political states.

In a recent editorial, Editors-in-Chief Carl Folke and Lance Gunderson summarize their vision for Ecology and Society:

We view humanity and nature as co-evolving systems that interact within the bounds of the biosphere at various temporal and spatial scales and across scales. We hope to create a rigorous scientific forum where we can discuss issues related to the linked and dynamic systems of humans and nature and generate an improved understanding of essential interactions that will enhance our capacity to actively adapt to change without eroding resilience or creating vulnerability. (Conservation Ecology Volume 6, issue 1, article 19)

We also encourage papers that make use of the unique opportunities of an e-journal: color illustrations, animated model output, down-loadable models and data sets, use of the "Response" option for interactive discussion, and other novel inventions to encourage reader interaction.

<http://www.ecologyandsociety.org/policies.php#focus>

Author Guidelines

The online submission process is broken into the following steps:

- Step 1: Specifying the [manuscript type](#), and submitting a covering letter
- Step 2: Specifying the authors and author contact information

- Step 3: Specifying the title, abstract, and keywords
- Step 4: Uploading the [body text](#)
- Step 5: Specifying the list of [attachments](#) and then uploading those attachments
- Step 6: Final verification of the manuscript

The author interface for each of these steps includes details on how to enter the information required.

Formatting a Manuscript

- [Organizing your submission](#)
- [Abstract, acknowledgments and keywords](#)
- [Body text](#)
 - [Spacing, fonts, and page numbering](#)
 - [Underlining/italicization](#)
 - [Footnotes](#)
 - [Units](#)
 - [Statistics](#)
 - [Web \(HTML\) links](#)
 - [Headings and subheadings](#)
 - [Literature cited](#)
- [Attachments](#)
 - [Tables](#)
 - [Figures](#)
 - [Appendices](#)
- [Equations, Greek symbols and statistics](#)

ORGANIZING YOUR SUBMISSION

Manuscripts submitted to *Ecology and Society* must be divided into separate files to allow processing by our software. Manuscripts that have embedded figures or tables in the body text can not be processed and will generate errors during the submission procedure.

Before attempting an online submission, please separate your submission into the following file types:

- body text (rich-text format)
- tables (each table is an individual file, in rich-text format)
- figures (each figure is an individual image file: JPG, GIF, PNG)
- equations (each figure is an individual image file: JPG, GIF, PNG)
- appendices (most formats: text-only appendices must be in rich-text format)

The majority of word processing programs will save to Rich Text Format. GIF and JPG image formats should be adequate for most non-animated figures. If you are unable to save in one of these formats please contact the [editorial office](#).

ABSTRACT, ACKNOWLEDGMENTS AND KEYWORDS

Please have your abstract, acknowledgments and keywords prepared and ready to input directly into the submission interface, either by typing them in or cut-and-paste. Do not include them in the body text of your manuscript.

BODY TEXT

All papers must be in English. Write with precision, clarity, and economy: use the active voice and first person whenever appropriate. If at all possible, avoid the use of parenthetical comments and italics or bold for emphasis. E&S discourages the use of quotation marks except for direct quotations, words defined by the author, and words used in unusual contexts. Short quotations should be embedded in the text and enclosed in double quotation marks (""). Long quotations should be on a separate line, italicized, but without quotation marks. Single quotation marks are to be used only for a quotation that occurs within another quotation. Use American spellings (e.g., behavior, not behaviour) except for titles and articles in books and journals published in British/Commonwealth English. The *CSE Manual for Authors, Editors, and Publishers 7th Edition*, is recommended for details of style.

Spacing, Fonts, and Page Numbering

Single-space all material (text, quotations, figure legends, tables, references, etc.). Separate paragraphs with a blank line. Use a 12-point font (preferably Times Roman).

Underlining/Italics

Please italicize scientific names, long direct quotations and the symbols for all variables and constants except Greek letters in the text. Symbols in Illustrations and equations should be italic to match the text. Do not underline text. Italics should rarely be used for emphasis.

Footnotes

Avoid footnotes in the body text of your manuscript; most footnote material can be incorporated in the text for the benefit of readers and editors. Additionally, footnotes are not handled well by our journal software, and their inclusion may result in a failed submission. Footnotes below tables are acceptable; instead of numbers, please use (in order): †, ‡, §, |, ¶, #, ††, ‡‡, §§, ||, ¶¶, ##.

Units

Use the International System of Units (SI) for measurements. Consult *Standard Practice for Use of the International System of Units* (ASTM Standard E-380-93) for guidance on unit conversions, style, and usage. (The Standard can be purchased for \$23.00 from ASTM, 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103). When preparing text and figures, note in particular that (1) SI requires the use of the terms mass or force rather than weight; (2) when one unit appears in a denominator, use the solidus (/); for two or more units in a denominator, use negative exponents; and (3) use a capital L as the symbol for liter.

Statistics

Use leading zeroes with all numbers <1, including probability values (e.g., $P < 0.001$). For every significant F statistic reported, provide two df values (numerator and denominator). Whenever possible, indicate the year and version number of the statistical software used.

Web (HTML) links

Authors may include links to other Internet resources in their article [(e.g., the Resilience Alliance (<http://www.resalliance.org/>)]. This is especially encouraged in the reference section. When inserting a reference to a webpage, please include the <http://> portion of the address.

Headings and subheadings

Main headings: The body text should be subdivided into different sections with appropriate headings. Where possible, the following standard headings should be used. These headings must appear on a single line by themselves, and be UPPER CASE. Please do not number headings or subheadings.

INTRODUCTION

The motivation or purpose of your research should appear in the Introduction, where you state the questions you sought to answer, and then provide some of the historical basis for those questions.

METHODS

Provide sufficient information to allow someone to repeat your work. A clear description of your experimental design, sampling procedures, and statistical procedures is especially important in papers describing field studies, simulations, or experiments. If you list a product (e.g., animal food, analytical device), supply the name and location of the manufacturer. Give the model number for equipment used. Supply complete citations, including author (or editor), title, year, publisher, and version number, for computer software mentioned in your article.

RESULTS

Results should be stated concisely and without interpretation.

DISCUSSION

Focus on the rigorously supported aspects of your study. Carefully differentiate the results of your study from data obtained from other sources. Interpret your results, relate them to the results of previous research, and discuss the implications of your results or interpretations. Point out results that do not support speculations or the findings of previous research, or that are counterintuitive. You may choose to include a Speculation subsection in which you pursue new ideas suggested by your research, compare and contrast your research

with findings from other systems or other disciplines, pose new questions that are suggested by the results of your study, and suggest ways of answering these new questions.

CONCLUSION

LITERATURE CITED

The list of Literature Cited should be included after the final section of the main article body. A blank line should be inserted between single-spaced entries in the list.

Where possible, the standard headings should be used in the order given above. Additional headings may be used and modifications to these heading suggestions are permissible

Secondary headings should be left-justified, bolded, and lowercase except for the initial letter of the first word which should be uppercase (e.g. Study site). Tertiary headings should be left-justified, italicized, and lowercase except for the initial letter of the first word which should be uppercase. (e.g. *Field study* and *Simulation model*). All lower headings must appear on a line by themselves.

Literature cited

Before submitting the manuscript, check each citation in the text against the Literature Cited to ensure that they match exactly. Delete citations from the list if they are not actually cited in the text of the article. Citations in the text should be formatted as follows: (Smith 1990) or (Smith et al. 1998, Brock and Gunderson 2001, Felt 2006)

The list of literature cited should conform in sequencing and punctuation to that found in recent issues of *Ecology and Society*. All journal titles should be spelled out completely. In the titles of articles, capitalization of the common names of organisms and the spellings of all words should agree exactly with that used in the original publication.

Provide the publisher's name and location when you cite symposia or conference proceedings; distinguish between the conference date and the publication date if both are given. Do not list abstracts or unpublished material in the Literature Cited. They may be listed in the text as personal observations (by an author of the present paper), personal communications (from others), or unpublished *x*, where *x* = data, manuscript, or report; provide author names and initials for all unpublished work and abstracts. When possible, include URLs for articles available online through library subscription or individual journal subscription. URLs should not be included for articles that are posted on an author's website, unless it is a software or language program that is not available by any other means and is integral to the paper.

Example of literature cited:

Bissonette, J. A., and I. Storch. 2002. Fragmentation: is the message clear? *Conservation Ecology* 6(2):14. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol6/iss2/art14/>.

Borror, D. J., editor. 1976. *An introduction to the study of insects*. Fourth edition. Holt, Rinehart and Winston, New York, New York, USA.

Chapin, F. S., III, G. R. Shaver, A. E. Giblin, K. J. Nadelhoffer, and J. A. Laundre. 1995. Responses of arctic tundra to experimental and observed changes in climate. *Ecology* 76:694-711.

Dullinger, S., T. Dirnböck, and G. Grabherr. 2004. Modelling climate change-driven treeline shifts: relative effects of temperature increase, dispersal and invasibility. *Journal of Ecology* 92:241-252.

Feth, J. A. 1947. *The geology of Northern Canelo Hills, Santa Cruz County, Arizona*. Dissertation. University of Arizona, Tucson, Arizona, USA.

Gilchrist, G., M. Mallory, and F. Merkel. 2005. Can local ecological knowledge contribute to wildlife management? Case studies of migratory birds. *Ecology and Society*, in press.

Gradwohl, J., and R. Greenberg. 1982. The breeding season of antwrens on Barro Colorado Island. Pages 345-352 in E. C. Leigh, Jr., A. S. Rand, and D. M. Windsor, editors. *The ecology of a tropical forest: seasonal rhythms and long-term changes*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., USA.

McDermott, R. E., and P. W. Fletcher. 1955. *Influence of light and nutrition on color and growth of redcedar seedlings*. Agriculture Experiment Station Research Bulletin 587, University of Missouri, Columbia, Missouri, USA.

National Cartography and Geospatial Center. 1998. *Instructions for collecting the 1997 National Resources Inventory data*. [online] URL: www.ncg.nrcs.usda.gov/nri/inst_toc.html.

National Oceanic and Atmospheric Administration. 1961-1980. *Climatological data—Kansas*. Environmental Data and Information Service, National Climatic Center, Asheville, North Carolina, USA.

Owen, W. 2002 The history of native plant communities in the south. Pages 47-62 in D. N. Wear and J. G.

Greis, editors. *The southern forest resource assessment: technical report*. U.S. Forest Service General Technical Report SRS-53.

Schaefer, M. 1975. Experimental studies on the importance of interspecies competition for the lycosid spiders in a salt marsh. Pages 86-90 in *Proceedings of the Sixth International Arachnological Congress* (Amsterdam, 1974). Nederlandse Entomologische Vereniging, Amsterdam, The Netherlands.

Schroeder, D. 1985. The search for effective biological control agents in Europe. 1. Diffuse and spotted knapweed. Pages 103-119 in E. S. Defosse, editor. *Proceedings of the Sixth International Symposium for Biological Control of Weeds*, 19-25 August 1984, Vancouver, Canada. Agriculture Canada, Ottawa, Canada.

Wäckers, F., P. van Rijn, and J. Bruin, editors. 2005. *Plant-provided food for carnivorous insects*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, *in press*.

List of pointers to avoid common errors (See [Guidelines for and Common Errors in Literature Cited](#) for a detailed description of other common errors):

1. Insert spaces between initials except in Washington, D.C.
2. Last name appears first for first author; initial(s) first for subsequent authors.
3. Periods and commas associated with bold or italicized words or phrases should also be bold or italicized.
4. In journal citations, there is no space between the colon and the page range.
5. Books and conference proceedings must include publisher information: name, city, state or province (if pertinent), country.
6. Conference proceedings must include the city, state/province, country, and year in which the conference was held. Conference dates are typically included, although not required. The editor(s) of the Proceedings should be included, if possible.
7. Journal articles in press should include the volume number of the journal even if the page range is not known.

ATTACHMENTS

All tables, figures, text appendices, videos, computer simulations, and databases constitute attachments to the body text of the manuscript. As such, they must be submitted as separate files to be handled properly by our software. During the submission process you will be required to select your attachment type from a drop down list, and type or paste its associated caption – these steps are repeated until you have input the captions for all of your attachments. You will then upload the attachment files, and our software will generate a web page for each attachment based on the file names and captions provided. Do not include captions or titles in the attachment files themselves.

Equation files are not considered attachments. Please see the [Equations](#) section below for information on how to format equations.

- [Tables](#)
- [Figures](#)
- [Appendices](#)

Tables

Supply tables in rtf format. Please note that tables are automatically converted for display on the Web and that the conversion software is very literal in its translation. Ensure that row and column entries are denoted by the proper row and column divisions of the table function in the word processing software. Use of tabs, spaces or blank lines instead of tables cells to separate information is not acceptable.

Single space all tables. Either portrait or landscape orientation is acceptable. All title and caption information is entered separately during the submission process and should not appear in the table file.

Never repeat the same material in figures and tables; when either is equally clear, a figure is preferable. Do not include information in tables that is not discussed in the text of the manuscript.

Figures

Figures must be supplied as graphic files (in GIF, JPG, or PNG formats). For manuscripts in review, figures should be supplied at 96 dpi and no wider than 700 pixels (unless given explicit permission by the [managing editor](#)). Should your manuscript be accepted for publication, we will ask you to supply high resolution, print-quality versions of your figures. Supply figures in either landscape or portrait orientation. All title and caption information are entered separately during the submission process and should not appear in the figure file.

Please ensure that any text in your figures is legible; text should be in Arial font and no smaller than 10 point in

size. Initial upper case letters are preferred except where SI requires lower case letters for unit abbreviations (e.g., dbh, ln). Use italic lettering for single-letter variables, constants, and scientific names in illustrations to make them consistent with the text.

Solid black bars in bar graphs tend to overwhelm other parts of the graph; use colored, shaded, or hatched bars in preference to black ones. Color figures are accepted, authors should ensure that color figures are also legible when viewed in black and white.

Photographs of organisms and habitats add interest and "reality" to scientific data. We encourage you to include such a photograph where appropriate.

Appendices

Appendices are not copy edited or formatted prior to publication, and consequently authors must ensure that their submitted appendix is formatted correctly before acceptance. For appendices consisting of plain text, and text with embedded images, equations or tables, authors are encouraged to upload properly formatted pdf files to ensure that the formatting is preserved. Include a heading and caption in your pdf, where the heading "APPENDIX" is all caps and bold and the caption is Sentence Case and bold. A single appendix has no identifying number or letter, and is referred to in the main article as "the Appendix." Multiple appendices should be identified as 1, 2, 3, etc.. Table and figure numbers in appendices should be keyed to the letter identifying that appendix: Fig. A1.1, for Figure 1 in Appendix 1; Table A2.3 for Table 3 in Appendix 2. Equations should be numbered similarly: A2.3, for Equation 3 in Appendix 2, and so on ([see example](#)). Tables are formatted with a double line above the heading, and single lines below the heading and below the last table row ([see example](#)). Enter all title and caption information when asked during the submission process, and upload each appendix as a separate file.

All other non-text appendices, such as databases, video or sound files may be uploaded using an appropriate filetype for the file contents. Appendices should be labeled logically to indicate content (i.e. "Program#.filetype", "Sound#.filetype"). Captions should describe the attachment fully (by content, file format, usage, software required to run them, etc.) and are uploaded separately during the submission process.

EQUATIONS AND GREEK CHARACTERS

Equations

Insert a tag in the form <eqn#> into the body text of your manuscript wherever you would like an equation to appear, where # = 1,2,3...n and indicates the sequential number of the equation. Once you have uploaded the body text, you will be prompted to upload your equation(s). Upload each equation as a separate graphic file named eqn#.gif, where # corresponds to the tags inserted into the body text. Any one equation may be specified any number of times by inserting the appropriate tag in the manuscript in multiple locations.

Greek

characters

To include Greek characters in your manuscript please either use the "Insert -- Symbol" feature in Microsoft Word, or write out the full name of the Greek character and enclose the word in parentheses (e.g., <alpha>, <beta>) within the text of your manuscript (click [here](#) for a complete list of Greek characters and the associated full name).

Submission Preparation Checklist (All items required)

- The work submitted herein has not been published elsewhere, nor is it at present being considered for publication by another journal. If either of these conditions apply, the author must provide complete details in a covering letter to the editors. Failure to notify the editors is grounds for rejection.
- The manuscript complies with the stated word limits. If not, it may be subject to additional charges.
- The text adheres to the formatting requirements outlined in the *Author Guidelines* (see *About the Journal*).
- The text of the paper itself and that of the tables and any textual appendices are in Rich Text Format (RTF); the main body of the text has no embedded figures, equations, or tables.
- Equations and figures, if present, are correctly referenced in the body text of the paper and you have individual image files of the equations and figures ready for upload.
- Use of copyrighted material such as figures, tables, trademarks, logos is discouraged by the editors. If such materials are used, the author has 1) declared in a cover letter that such material is submitted and 2) received written permission from the original publisher to use the materials.

Copyright Notice

Each article is copyrighted © by its author(s), and is published here by the Resilience Alliance under license from the author(s)

Privacy Statement

The names and email addresses entered in this journal site will be used exclusively for the stated purposes of this journal and will not be made available for any other purpose or to any other party.

<http://www.ecologyandsociety.org/submissions.php#guidelines>