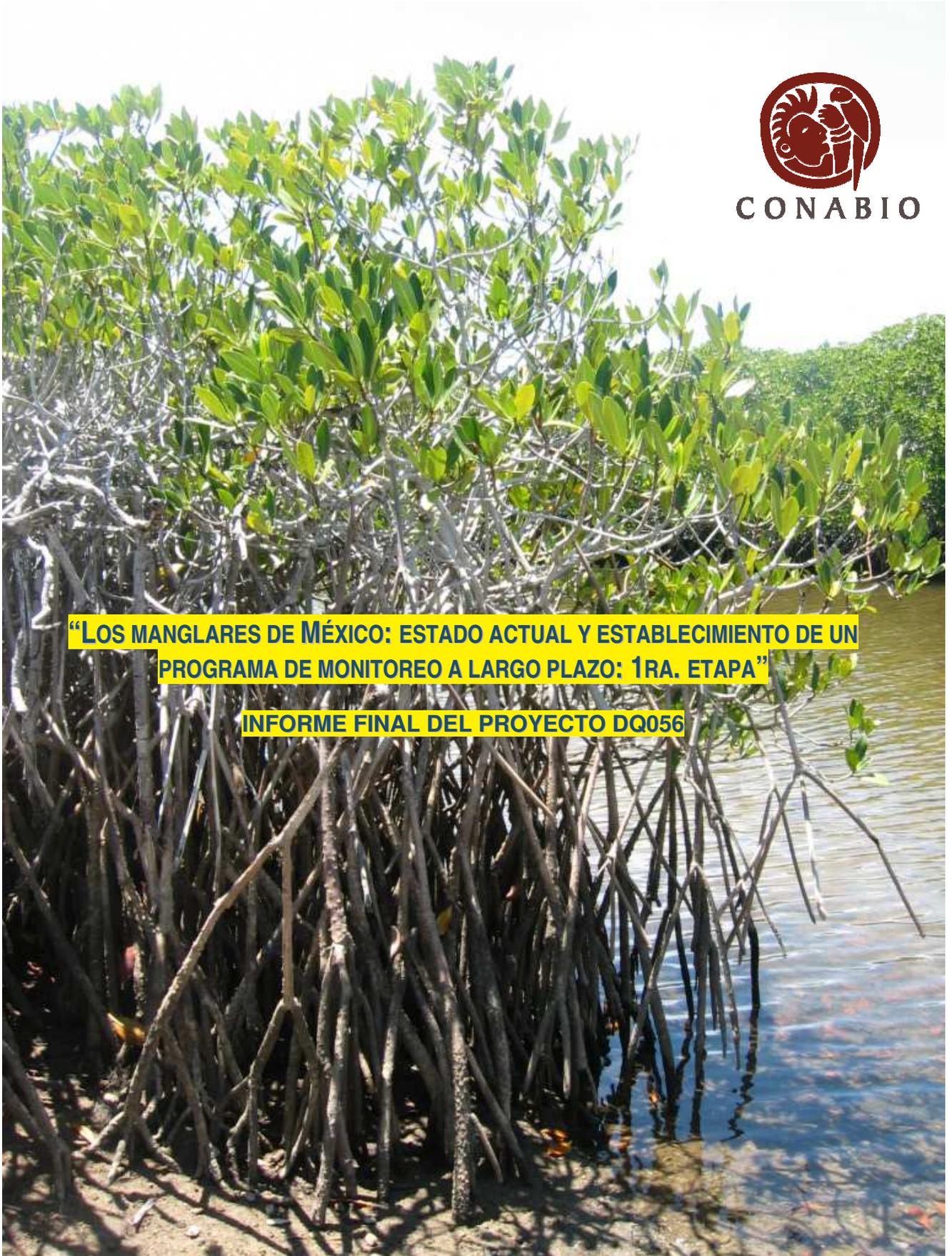




CONABIO

**“LOS MANGLARES DE MÉXICO: ESTADO ACTUAL Y ESTABLECIMIENTO DE UN
PROGRAMA DE MONITOREO A LARGO PLAZO: 1RA. ETAPA”**

INFORME FINAL DEL PROYECTO DQ056





Informe final del Proyecto DQ056

“Los manglares de México: estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 1ra. etapa”

México, D.F., 18 de julio del 2007

Institución:

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (**CONABIO**).
Liga Periférico – Insurgentes Sur No. 4903 Colonia Parques del Pedregal
Delegación Tlalpan, C.P. 14010 México, D.F.

Responsables del proyecto:

M. en C. Joanna Acosta-Velázquez
Analista en Percepción Remota. Coordinación de Percepción Remota.
Dirección de Geomática. Dirección General de Bioinformática.
Telf.: (52-55) 50044987. Fax: (52-55) 50044931. E-mail: jacosta@conabio.gob.mx
Dirección particular: Av. Insurgentes Sur 4411. Edf. 40 Dpto. 504.
Delegación Tlalpan. C.P. 14430. México, D.F.

M. en C. María Teresa Rodríguez Zúñiga
Analista en Percepción Remota. Coordinación de Percepción Remota.
Dirección de Geomática. Dirección General de Bioinformática.
Telf.: (52-55) 50044987. Fax: (52-55) 50044931. E-mail: mrodrig@conabio.gob.mx
Dirección particular: Bosque de Cipreses No. 3 Mz. 259 Jardines de Morelos,
Ecatepec, Estado de México. C.P. 55070. Tel. particular: (52-55) 58388542.

Colaboradores principales:

Pas. Geog. Margarita Ascención Merino (CONABIO)
Dr. Sergio Cerdeira Estrada (Analista Experto en Percepción Remota - CONABIO)
Geog. María Isabel Cruz López (Coordinadora de Percepción Remota - CONABIO)

Otros colaboradores:

Lic. Javier J. Colín López (Analista Programador en SIG - CONABIO)
Biol. Daniel Ocaña Nava (Analista de SIG - CONABIO)
Dr. Rainer Ressler (Director de Geomática - CONABIO)

Líneas temáticas dentro del Programa de Restauración y Compensación Ambiental:

- B. Conservación: Actividades encaminadas a la conservación directa a través del manejo y protección de los ecosistemas y su biodiversidad incluyendo su uso sostenible.
- B6. Estudios que aporten sustento a las acciones de conservación (inventarios biológicos, estudios ecológicos, socioeconómicos, etc.).
- B7. Monitoreo de poblaciones y áreas naturales a corto y largo plazo.

Duración del proyecto: 1 año

Duración del período que se evalúa:

Informe final: Mayo 15, 2006 – Julio 15, 2007

Área de estudio para el informe final:

Pacífico Norte (Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Nayarit)
Pacífico Centro (Jalisco, Colima y Michoacán)
Pacífico Sur (Guerrero, Oaxaca y Chiapas)
Golfo de México (Tamaulipas, Veracruz, Tabasco)
Península de Yucatán (Campeche, Yucatán y Quintana Roo)

Monto del financiamiento solicitado (IVA incluido) para todo el proyecto:

\$ 729,000 pesos

Agradecimientos

Se agradece la colaboración de la Dra. Melanie Vogel, investigadora de la Agencia Aeroespacial Alemana (DLR) por su participación en la aplicación de la corrección radiométrica de las imágenes de satélite. También se agradece al M. en C. Pedro Ramírez García y a la Pas. de Biól. Alma Delia Vázquez Lule del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), al M. en C. Gabriel Gutiérrez Granados del Instituto de Ecología de la UNAM, al Ing. Víctor Vega Sanchez del INEGI-Culiacán, al personal de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, al personal del Parque Nacional Lagunas de Chacahua, al personal del Departamento de Estudios para el Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras de la Universidad de Guadalajara y a la Cooperativa Pesquera Cruz de Loreto en Guadalajara, al Dr. Jorge Herrera, Dr. Jorge Eúan, Dra. M.A. Liceaga del CINVESTAV-Mérida y su grupo de trabajo, a la Dra. Silvia Casas de la Universidad Autónoma de Tamaulipas y su grupo de trabajo, a la Biól. Gloria Tavera Alonso Directora del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna Madre y Delta del Río Bravo, por su apoyo, intercambio de experiencia e información y participación en el trabajo de campo.

Agradecemos al Dr. Jorge López Portillo del Instituto de Ecología, A. C. y al Dr. Juan Ignacio Valdez Hernández del Colegio de Postgraduados su valiosa colaboración como asesores del proyecto.

Agradecemos también a las siguientes personas por su disponibilidad y por el intercambio de experiencia e información a lo largo del proyecto: M. en C. Humberto Hernández de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Biól. León Gómez del Instituto de Ecología, A. C, Dr. Arturo Ruiz Luna del Laboratorio de Manejo Ambiental CIAD-Mazatlán, Dr. Cristian Tovilla del Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)- Tapachula. Así mismo agradecemos al Biól. Takaki, Biól. Sandra Mora Corro y Biól. Carlos Zermeño Benítez del INEGI-Aguascalientes y al Ing. Rigoberto Palafox Rivas y al Mtro. Alberto Sandoval Uribe de la CONAFOR.

Abreviaturas utilizadas en este documento

ASERCA	Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria
CCL	Cónica Conforme de Lambert
CIAD	Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo
CINVESTAV	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
DUMAC	Ducks Unlimited de México
ERMEXS	Estación de Recepción México de la Constelación Spot
GM	Golfo de México
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
IB-UNAM	Instituto de Biología de la UNAM
IE-UNAM	Instituto de Ecología de la UNAM
INECOL	Instituto de Ecología, A.C.
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
INF	Inventario Nacional Forestal
MDT	Modelo Digital de Terreno
NDVI	Índice Normalizado de Vegetación
PC	Pacífico Centro
PN	Pacífico Norte
PS	Pacífico Sur
PY	Península de Yucatán
SARH	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SEMAR	Secretaría de Marina
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIG	Sistema de Información Geográfica
SNIB	Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
UdG	Universidad de Guadalajara
UV	Universidad Veracruzana

CONTENIDO

RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
OBJETIVOS.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
I. Área de Estudio.....	12
II. Extensión y distribución actual de los manglares de México.....	13
III. Estructura forestal de los manglares.....	23
IV. Identificación de relaciones entre variables biológicas y grupos espectrales.....	24
VI. Diseño del Sistema de Información Geográfica (SIG).....	25
RESULTADOS.....	28
I. Extensión y distribución actual de los manglares de México.....	28
II. Estructura forestal de los manglares.....	32
Región Pacífico Norte (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit).....	35
Región Pacífico Centro (Jalisco, Colima y Michoacán).....	37
Región Pacífico Sur (Guerrero, Oaxaca y Chiapas).....	40
Región Golfo de México (Tamaulipas, Veracruz y Tabasco).....	42
Región Península de Yucatán (Campeche, Yucatán y Quintana Roo).....	44
III. Identificación de relaciones entre variables biológicas y grupos espectrales.....	46
IV. Diseño del Sistema de Información Geográfica (SIG).....	49

DISCUSIÓN.....	54
CONCLUSIONES.....	62
OTRAS ACTIVIDADES RELEVANTES DEL PROYECTO.....	64
REFERENCIAS.....	66

Resumen

Se estimó la distribución y extensión de la cobertura de manglar en México para el año 2005. El procedimiento se basó en el análisis digital de imágenes de satélite principalmente del año 2005 (60% de los datos) y trabajo de campo, considerando al manglar como una sola cobertura vegetal y por tipo de manglar para algunas regiones del país. Los tipos de manglar se definieron en función de la respuesta espectral, particularmente asociada con los canales rojo e infrarrojo de los sensores, que son sensibles a la concentración de clorofila y a la densidad vegetal; asimismo, se determinó la estructura del manglar de cinco sitios a partir de trabajo de campo. Se utilizaron métodos convencionales de clasificación no supervisada y en la región Península de Yucatán (PY) se utilizó métodos de clasificación jerárquica. Los mapas temáticos fueron proyectados al sistema Cónica Conforme de Lambert, los resultados se presentan tanto por entidad Federativa como por Región. En todo el proceso se utilizó información auxiliar procedente de ortofotos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), imágenes del satélite Landsat, Modelos Digitales de Elevación, cartografía de uso de suelo y vegetación del INEGI y del Inventario Nacional Forestal (INF), además de otros datos proporcionados por el Laboratorio de Manejo Ambiental del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Unidad Mazatlán (CIAD-Mazatlán), Ducks Unlimited de México y del Laboratorio de Producción Primaria del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Unidad Mérida (CINVESTAV), a fin de mejorar los resultados de la clasificación. En términos generales, se determinó que existe una diferencia de más de 200,000 hectáreas entre las cifras oficiales reportadas para la cobertura de manglar y las que se generaron en este proyecto. La superficie de manglar estimada para el 2005 fue de 683,881 hectáreas (con una disminución del 4.12%, lo que equivale a 655,667 hectáreas, si los datos se toman a escala 1:50,000) lo que está por debajo de las cifras reportadas por la FAO en 2005 y por el INEGI en el 2002. La región PY fue la que obtuvo la mayor cantidad de hectáreas (349,252 ha, el 51%) mientras que la región Pacífico Centro solamente registró el 1.1% del total. A partir de colaboraciones interinstitucionales se espera que para el primer trimestre del año 2008 se contará con la validación completa del mapa generado a través de este proyecto. Las diferencias de los resultados con otros estudios realizados en el país son mostradas al igual que el mapa final con la cobertura reciente de los manglares de México. Además, se determinó la estructura de la vegetación en sitios de manglar seleccionados en cada una de las cinco regiones definidas (ver Figura 1); los manglares del Pacífico Norte se caracterizaron en dos grupos: manglar de tipo arbóreo y manglar de tipo arbustivo, por medio variables biológicas georreferenciadas *in situ* (e.j. área basal, densidad, frecuencia, dominancia, valor de importancia, composición de especies) y los grupos espectrales identificados en los procesos de análisis de imágenes de satélite. En próximas fases del proyecto, se pretenden caracterizar los manglares de todo el país de igual forma (arbóreo y arbustivo), así como diseñar un Sistema de Información Geográfica

(SIG) que permita monitorear los manglares de México, con el propósito de que la información sea de fácil acceso a las instituciones interesadas.

Introducción

Los humedales costeros, en particular los manglares, brindan una gran variedad de servicios ambientales importantes para el hombre. Los manglares, al ser zonas de alimentación, refugio y crecimiento de juveniles de crustáceos y alevines, funcionan como hábitat de apoyo a las pesquerías de la plataforma continental, por lo que sostienen una elevada producción pesquera, son fuentes de energía (leña) para el hombre y poseen un alto valor estético y recreativo (Tomlinson 1986; Baran y Hambrey 1998; Osborne 2000). Además, los manglares actúan como sistemas naturales de control de inundaciones en la zona costera, así como barreras contra huracanes e intrusión salina, controlan la erosión y protegen las costas, mejoran la calidad del agua al funcionar como filtro biológico removiendo nutrientes y toxinas, contribuyen en el mantenimiento de sistemas y procesos naturales tales como respuestas a cambios en el nivel del mar, mantienen procesos de sedimentación y funcionan como trampas de carbono. Asimismo, sirven de refugio de flora y fauna silvestre (Day *et al.* 1989; Flores-Verdugo 1989; McKee 1996; Osborne 2000).

A pesar de su importancia ecológica, económica y social, la extensión de los manglares a nivel global se ha reducido aproximadamente en un 35% durante las últimas dos décadas; gran parte de esta deforestación se ha asociado con el impacto directo de actividades económicas como camaronicultura y el desarrollo turístico (Valiela *et al.* 2001).

En México, los manglares se distribuyen a lo largo de las costas del Océano Pacífico, Golfo de México y el Mar Caribe, en diecisiete entidades federativas. Según las últimas estimaciones de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) para la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), los manglares en México ocupan alrededor de 9,140 km² (FAO, 2005). Sin embargo, existe una amplia discrepancia entre las distintas estimaciones de su extensión como se puede apreciar en la Tabla 1, debido a la variedad de métodos y escalas de análisis utilizadas lo que hace complicado estimar la pérdida-ganancia real de los manglares del país. Esta falta de concordancia entre las estimaciones de la extensión de los manglares exige tener una estimación reciente -con un nivel de exactitud asociado- de la distribución, extensión y cambios de los manglares de México.

En los últimos quince años, se han desarrollado una serie de trabajos enfocados a la evaluación de la distribución de los manglares en México con técnicas de percepción remota y trabajo de campo. Entre ellos destacan los de de la Lanza y Ramírez-García (1993), Ramírez-García y colaboradores (1998), Ruiz-Luna y Berlanga-Robles (1999); Rodríguez-Zúñiga (2002), Acosta-Velázquez (2003), Monzalvo-Santos (2006) y Ramírez-Bojorquez (2006). Sin embargo,

hasta el momento no se han estandarizado las técnicas adecuadas que permitan determinar con exactitud la extensión y distribución de esta cobertura y ha habido pocos esfuerzos locales para establecer programas de monitoreo ecológico a largo plazo de manglares debido a la incapacidad de concretar una sinergia interinstitucional que permita proteger y manejar adecuadamente este tipo de hábitat.

Por lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo central desarrollar un programa de monitoreo sistematizado a largo plazo a través de indicadores ambientales, que permita determinar las condiciones de la vegetación y los principales agentes de transformación de los manglares de México, que sirva de herramienta a las autoridades e instituciones correspondientes para identificar oportunamente sitios de conservación, manejo o rehabilitación de este hábitat y definir con ello las acciones necesarias para su protección.

Tabla 1. Referencias históricas que muestran las áreas de manglares en México.

Año	Área (ha)	Fuente	Observaciones
1973	700,000	FAO, UNEP. 1981.	Estimación basada en datos de la Dirección General del Inventario Nacional Forestal. 1975, 1977 y 1978
1980	660,000	FAO, UNEP. 1981.	Valor calculado por regresión lineal a partir de tasas de deforestación (1973-1980), actualizado al final de 1980.
1986	660,000	Rollet, 1986. FAO.	Retoma la cifra citada por FAO UNEP 1981.
1991	660,445	Tovilla 1994.	Citado en: Tovilla, 1994. No se define adecuadamente el método de estimación
1992	932,800	Spalding, et al. 1997.	Estimación basada en el análisis de mapas a escala 1:3,800,000.
1992	531,500	SARH. 1992.	Citado en: Spalding et al. 1997
1993	524,600	Yañez-Arancibia, et al. 1993.	FAO indica que es una referencia secundaria, para la que no se estableció la fuente principal. Señala además que la cifra corresponde a la fecha de publicación del trabajo y no a la fecha de evaluación.
1993	721,554	Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. 1994.	Evaluación basada en análisis de imágenes de satélite y verificación en campo. SARH (1994)
1994	488,367	Loa L.E. 1994.	No se define fuente original o métodos de estimación
1994	488,000	Suman, D. 1994.	D. Suman no hace ninguna evaluación, solo cita la cifra propuesta por Loa, incluida en uno de los capítulos del libro
1994	718,642	SEMARNAT. 2003.	Establece la cifra como resultado de la evaluación imágenes de satélite Landsat y el ajuste a la extensión territorial del país, basada en datos del Inventario Forestal Periódico 1994.
2000	440,000	FAO. (2003b)	Predicción generada por extrapolación usando datos de 1983, 1980, 1992 y 1994 como referencia
2000	500,000	Aizpuru, M., Achard, F. and Blasco, F. (2000)	FAO indica que es una referencia secundaria, para la que no se estableció la fuente principal. Señala además que la cifra corresponde a la fecha de publicación del trabajo y no a la fecha de evaluación.
2000	886,761	SEMARNAT. 2003.	Se establece que la estimación corresponde a vegetación primaria
2000	814,100	INF (2003).	Consulta directa en los datos vectoriales.
2002	955,866	INEGI (2002).	Se señala al Compendio de estadísticas ambientales 2002 de SEMARNAT como fuente. El total corresponde a 948,643.8 ha de manglar y 7222.4 ha de manglar con vegetación secundaria
2005	914,610	FAO (2005)	El total se compone de 904.899,46 ha de manglar y 9.710,93 ha de manglar en asociación con vegetación secundaria.

Tabla modificada de Ruiz-Luna *et al.* en prensa

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un programa de monitoreo sistematizado a largo plazo a través de indicadores ambientales, para determinar las condiciones de la vegetación y los principales agentes de transformación de los manglares de México, que sirva de herramienta a las autoridades e instituciones correspondientes para identificar oportunamente sitios de conservación, manejo o rehabilitación de este hábitat y definir con ello las acciones necesarias para su protección.

Objetivos específicos

1. Estimar la distribución actual de los manglares de México, mediante el análisis digital de imágenes del 2005 del satélite SPOT, utilizando datos de Vegetación y Uso del Suelo (serie III INEGI) como referencia.
2. Determinar la estructura de la vegetación en sitios de manglar seleccionados en cada una de las cinco regiones definidas.
3. Caracterizar los manglares del país por medio variables biológicas georreferenciadas *in situ* (e.j. área basal, densidad, frecuencia, dominancia, valor de importancia, composición de especies) y los grupos espectrales identificados en los procesos de análisis de imágenes de satélite.
4. Diseñar un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permita monitorear los manglares de México, con el propósito de que la información sea de fácil acceso a las autoridades e instituciones interesadas.

Materiales y Métodos

I. Área de Estudio

Las coordenadas extremas que enmarcan el territorio mexicano son: 118°22'00''O, 86°42'36''E, 32°43'06''N y 14°32'27''S; se encuentra limitado al norte por Estados Unidos de América y al sur por Belice y Guatemala, cuenta con una extensión territorial de 1 964 375 km² de los cuales 1 959 248 km² son superficie continental y 5 127 km² corresponden a superficie insular (www.inegi.gob.mx). La plataforma continental estimada suma 500, 000 km², cuenta con unas 125 lagunas costeras (Lankford, 1977), que significan un enorme potencial de recursos acuáticos, como las pesquerías y la acuicultura. El litoral mexicano cuenta con 11, 122 km de extensión (www.inegi.gob.mx) y una gran variedad de sistemas costeros y marinos dentro de sus aguas territoriales.

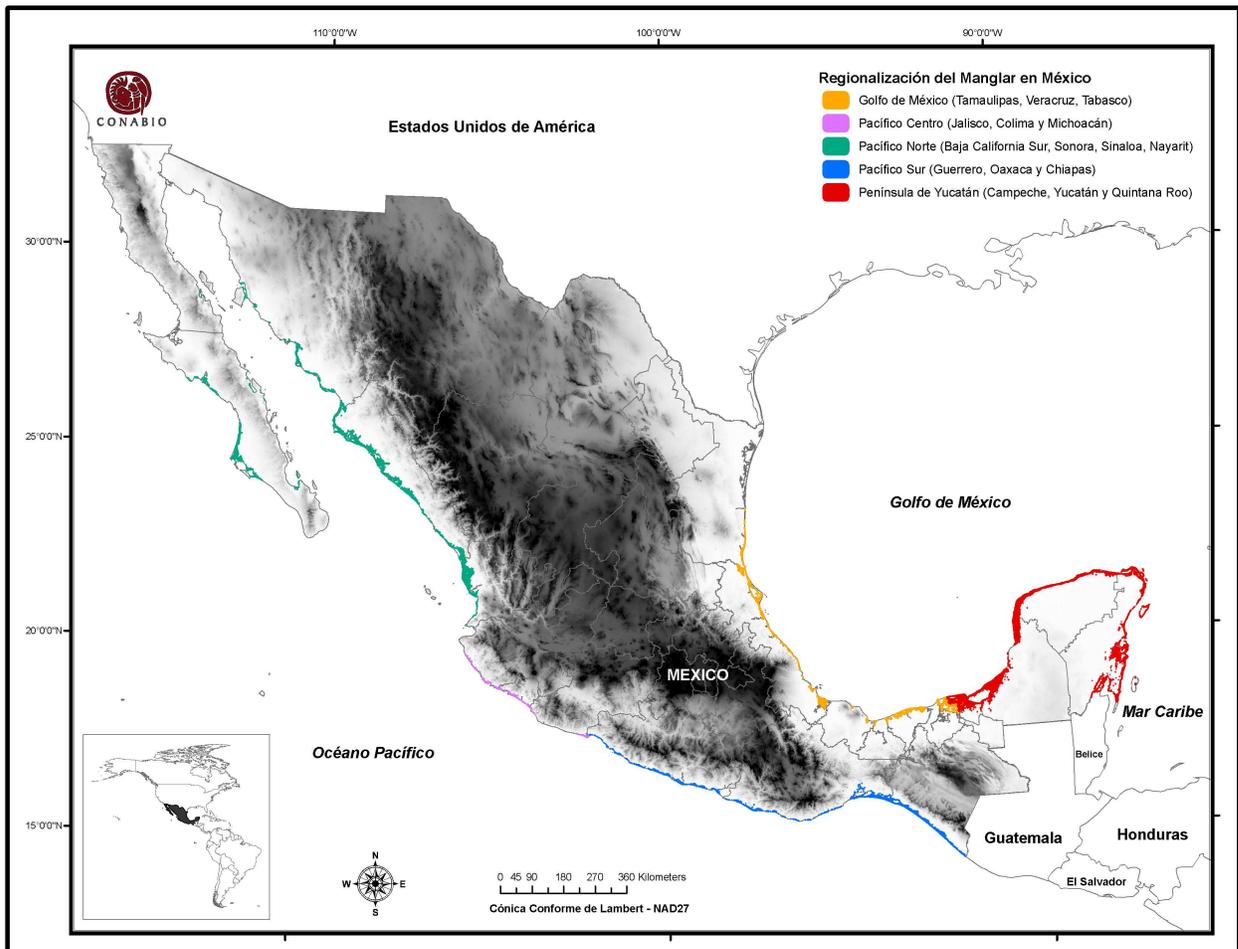


Figura 1 El Área de Estudio está constituida por la zona costera de la República en donde se distribuye los manglares. La regionalización de los manglares utilizada en este estudio se indica con diferentes colores en la zona costera de México.

En estas zonas es posible encontrar arrecifes, manglares, marismas, lagunas costeras, esteros, y otros ambientes muy diversos. Se sabe que las aguas costeras –a menos de 300 km de tierra firme– sustentan la mitad de la productividad biológica total de los océanos y casi toda la captura pesquera (Czitrom, 1998).

El área de estudio la constituye la franja costera de la República Mexicana en donde se distribuye el manglar (Figura 1). A fin de optimizar los métodos y la logística del proyecto, la zona de estudio se separó en cinco regiones, con base en la distribución reportada de los manglares en México y según lo acordado en el II Taller sobre la problemática de los ecosistemas de Manglar (Puerto Vallarta, Jalisco, 2005). Las cinco regiones de trabajo son: Pacífico Norte (Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Nayarit), Pacífico Centro (Jalisco, Colima y Michoacán), Pacífico Sur (Guerrero, Oaxaca y Chiapas), Golfo de México (Tamaulipas, Veracruz, Tabasco) y Península de Yucatán (Campeche, Yucatán y Quintana Roo). Los métodos utilizados fueron los mismos para todas las regiones y se describen a continuación.

II. Extensión y distribución actual de los manglares en México

a. Obtención de datos

Para la selección de imágenes de satélite, se realizó una revisión de los manglares de México con base en los polígonos generados por el INEGI en el mapa digital de Uso del Suelo y Vegetación Serie III (2005); no obstante por la escala en la que están generados (1: 250,000), algunas áreas de interés con manglar, pequeños parches distribuidos en el Pacífico Centro, Sur y Norte, quedaron fuera de los polígonos, dada la escala definida para los resultados de este proyecto (1:50,000), por lo que fue necesario hacer una revisión de literatura y de las bases de datos de campo de diversas instituciones nacionales (CIAD, CONABIO, CONAFOR).

Para seleccionar las imágenes SPOT en la detección de manglares y sin alto contenido de nubes, se llevaron a cabo búsquedas en el catálogo SIRIUS* de la empresa SPOT Image y posteriormente solicitadas a la Estación de recepción México de la Constelación SPOT (ERMEXS) operada por la SEMAR, SAGARPA-ASERCA e INEGI. Esto permitió ahorrar en promedio \$ 3,000 euros por imagen, lo que considerando solamente las imágenes útiles recibidas hubiera significado un costo de \$6'210,000.00 MN. Los tiempos de entrega de las imágenes variaron entre 20 y 60 días.

* <http://sirius.spotimage.fr/anglais/welcome.htm>

En total, se recibieron 950 imágenes SPOT y solo se utilizaron 133 (14 % del total recibido) para la clasificación de los manglares por regiones, debido a la presencia en las imágenes de un alto porcentaje de nubosidad, a errores en la banda 4, al poco cubrimiento del área, a la atípica respuesta espectral de las imágenes por la presencia de alto contenido de humedad en el terreno por el paso de un huracán o tormenta tropical, entre otros factores. También se utilizaron 3 imágenes Landsat *Thematic Mapper* (TM) y 2 Landsat *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), para cubrir algunas zonas que no pudieron ser cubiertas con SPOT (Tabla 2). El 60% de las imágenes SPOT y Landsat fueron del año 2005.

Tabla 2. Imágenes SPOT de ERMEXS y Landsat-ETM utilizadas en el presente trabajo.

Región	Imágenes SPOT						Imágenes Landsat 5 y 7			
	2003	2004	2005	2006	2007	Total	2000	2003	2005	Total
Pacífico Norte	-	1	31	8	-	40	-	-	3	3
Pacífico Centro	-	-	9	-	-	9	-	-	-	-
Pacífico Sur	-	3	14	6	1	24	1	-	-	1
Península de Yucatán	3	8	17	10	1	39	-	1	-	1
Golfo de México	-	4	9	8	-	21	-	-	-	-
Totales	3	16	80	32	2	133	1	1	3	5

Las imágenes SPOT-5 del sensor HRG1 están en formato DIMAP¹, en consecuencia las bandas espectrales están intercambiadas; es decir, vienen como Banda 1: NIR (infrarrojo cercano), Banda 2: Rojo, Banda 3: Verde, y Banda 4: MIR (infrarrojo medio); por lo que como primer paso se les cambia al orden correcto: Banda 1: Verde (antigua banda 3), Banda 2: Rojo, Banda 3: NIR (antigua banda 1), y Banda 4: MIR. En la Tabla 3 se muestra el espectro electromagnético asociado al sensor HRG1 y HRG2 del satélite SPOT-5.

Tabla 3. Espectro electromagnético asociado al sensor HRG1 y HRG2 del satélite SPOT 5.

Espectro EM del HRG-1 del SPOT-5	Tamaño del píxel [m]	Rango espectral [nm]
Banda 1: Verde	10	500 – 590
Banda 2: Rojo	10	610 – 680
Banda 3: Infrarrojo cercano	10	780 – 890
Banda 4: Infrarrojo medio	20	1580 – 1750

¹ El formato **DIMAP** es el nuevo formato de los productos SPOT, presentado en ocasión del lanzamiento de SPOT 5 en mayo de 2002, es un formato público de descripción de datos geográficos.

El primer paso es el intercambio de las bandas 1 y 3 de las imágenes SPOT-5 en formato DIMAP y las SPOT-4. Para las SPOT-2 (en formato CEOS) no es necesario hacer el intercambio de bandas.

b. Preprocesamiento de las imágenes

- Corrección radiométrica

Las imágenes SPOT presentan un procesamiento nivel 2A, lo que significa que cuentan con una corrección radiométrica y geométrica primaria. Teniendo en cuenta que la energía que registra el sensor se encuentra influenciada por la atmósfera (nubes, neblina, polvo, etc) es necesario llevar a cabo una corrección atmosférica a las imágenes SPOT para corregir alteraciones de la sensibilidad del sensor y la influencia de la atmósfera. La corrección atmosférica facilita la clasificación y comparación de los datos. Sin embargo, en este caso sólo se aplicó una corrección radiométrica que elimina los relativos al sensor y no los efectos atmosféricos, pero este proceso permitió normalizar los valores de brillantez para todas las imágenes SPOT utilizadas.

Para evitar las variaciones de la radiación debido a la variación anual de la irradiancia solar se debe normalizar la radiación medida por el satélite a reflectancia de la parte alta de la atmósfera (la energía que recibe el sensor, reflejada por la atmósfera). Estos valores entonces serán comparables de una fecha a la otra, simplificando el trabajo de interpretar imágenes de diferentes fechas. La exactitud obtenida es apenas dependiente de la exactitud de la calibración.²

A través de un modelo de reflectancia (`reflectance_spot_erdas.gmd`) desarrollado en el programa ERDAS Imagine, se convirtieron los valores digitales a radiancia y a reflectancia (Anexo 1). Para este paso se requiere del conocimiento de los parámetros de ganancia (GAIN, en inglés), compensación (OFFSET, en inglés), día del año juliano, y el ángulo de elevación solar, que se encuentran en un archivo adjunto a cada imagen SPOT (`vol_list.pdf`).

² Los valores de irradiancia solar para SPOT pueden ser obtenido del sitio web:
http://www.spotimage.fr/automne_modules_files/standard/public/p554_fileLINKEDFILE_spectral-sens.xls
La ecuación que se aplica en cada píxel se puede consultar en el sitio web de la ESA
[<http://earth.esa.int/rootcollection/sysutil/0069c.html>].

- **Georreferenciación**

Para rectificar las imágenes SPOT de las zonas de trabajo se contó con ortofotos generadas por el INEGI, con puntos de control geodésico y el Modelo Digital de Elevación. Las ortofotos cuentan con 1.5 y 2 metros de resolución espacial, están en formato *.bil, en la Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), con Datum ITRF92, Elipsoide GRS 80, en metros como unidades y en binarios crudos (1 byte por píxel).

Las imágenes SPOT fueron rectificadas a partir de ortofotos utilizando la Geocodificación Polinomial de orden cúbico por el método de remuestreo del vecino más cercano, una imagen a partir de otra utilizando puntos de control con un error medio cuadrático < 0.08 píxeles. Los datos producto de este preprocesamiento cuentan con la proyección cartográfica UTM con Datum WGS84 (similar al ITRF92, utilizado por INEGI), con el elipsoide WGS84. En cada una de las 133 imágenes SPOT se determinaron al menos 20 Puntos de Control (GCP: *Ground Control Point*) con apoyo de las ortofotos del INEGI y se identificaron rasgos comunes en ambas imágenes. El error medio cuadrático (*RMS*, por sus siglas en inglés) debe ser menor a un píxel. En este trabajo en algunos casos se logró un *RMS* de 0.3. El *RMS* es una medida de la precisión de los *GCP* en las imágenes expresada en el tamaño de píxel de la imagen. Valores menores a 1 contemplan una gran precisión. Un *RMS*=1 equivale a tener un error equivalente a la resolución espacial de la imagen satelital. Para el caso de las imágenes SPOT de 10 m de resolución espacial un *RMS*=1 equivale a 10 m de error.

Cabe mencionar que las imágenes georreferenciadas pasaron por un proceso de certificación de calidad en la precisión, debido a la presencia de zonas montañosas, o por falta de sitios adecuados para ubicar los puntos de control. Para ello se utilizaron ortofotos del INEGI (1:20,000), las capas vectoriales de la cartografía de México del INEGI (1:50,000) e imágenes SPOT adyacentes. Todos los análisis se hicieron en el programa ERMAPPER versión 7.1

- **Información auxiliar utilizada en la delimitación de manglares.**

Una vez corregidas las imágenes geométrica y radiométricamente, se llevó a cabo un procedimiento de enmascaramiento y eliminación de áreas, oceánicas y terrestres, no asociadas con cobertura de manglar. Debido a que los manglares se distribuyen en planicies costeras y presentan una fenología similar durante todo el año con hojas siempre verdes, se emplearon valores umbrales en el MDT para evitar la presencia de coberturas con características espectrales similares a los manglares a altitudes mayores a los 30 msnm.

Además de valores umbrales en el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) con el fin de enmascarar el agua y los suelos desnudos. En algunos casos, se digitalizaron vectores sobre las áreas a enmascarar, por interpretación visual, tomando como base imágenes compuestas en falso color (RGB: 342).

- Índice Normalizado de Vegetación (NDVI)

El NDVI refleja el estado, la densidad de la vegetación y la actividad fotosintética. Está relacionado con la biomasa y correlacionado con la evapotranspiración (Nemani y Running, 1989; Sawamoto y Shin, 1997). Es calculado por el promedio de la intensidad medida en la banda Rojo (R) (Banda 2) (610 – 680 nm) e infrarrojo cercano (NIR) (Banda 3) (780 – 890 nm) en el caso de las imágenes SPOT usando la fórmula (Rouse *et al.*, 1973)³:

$$\text{NDVI} = [(\text{NIR} - \text{Rojo}) / (\text{NIR} + \text{Rojo})]$$

Los valores que toma el NDVI están en el intervalo de -1, que indica ausencia de vegetación, a +1, cobertura vegetal completamente sana y verde (Gibson y Power, 2000). De esta manera es posible establecer correlaciones positivas entre el NDVI y el dosel y área foliar de vegetaciones homogéneas, siendo un buen indicador del estado y densidad de la vegetación (Green *et al.*, 1997). En la identificación de manglares se utilizó el NDVI como auxiliar para establecer umbrales y separar el agua de la tierra y otro tipo de coberturas (suelos desnudos, otra vegetación) con el fin de definir áreas con presencia de manglar.

- Modelo Digital del Terreno (MDT)

Se tomó en cuenta el MDT desarrollado por el INEGI, para enmascarar zonas mayores a los 30 metros de altura sobre el nivel del mar y separar así otros tipos de vegetación natural diferentes al manglar. Para obtener el MDT de cada imagen fue necesario hacer un recorte para el área cubierta por cada imagen. Este modelo tiene una resolución espacial de 30 m (determinado a partir de una interpolación de 50 m).

³ Para llevar dichos valores a un intervalo entre 0 y 255 (8 bits) se multiplica el NDVI por 127 y se suma 128, quedando finalmente la siguiente expresión matemática empleada en este estudio:
(SPOT) NDVI = [(Banda 3 - Banda 2) / (Banda 3 + Banda 2)] * 127 + 128

d. Análisis digital de imágenes de satélite

- Clasificación no supervisada

Una vez que las imágenes pasaron los filtros del NDVI y el MDT, se llevó a cabo la clasificación no supervisada con el algoritmo iterativo ISODATA, que utiliza la fórmula de la distancia espectral mínima para formar grupos (clusters). El método empieza con un grupo promedio arbitrario o con el promedio de un conjunto de firmas espectrales existentes. Cada vez que se repite el proceso de formación de “cúmulos”, el promedio de estos cúmulos se modifica. El nuevo promedio de los cúmulos se usa para la siguiente iteración. Este proceso repite el agrupamiento de la imagen hasta que se ejecute el número máximo de iteraciones o se alcance el máximo porcentaje de asignación de píxeles no cambiados entre dos iteraciones (Campbell, 1996). Una vez realizado este procedimiento en cada escena, se reclasificaron los píxeles como manglar y “otros”. Si había confusión con otras clases se repitió el proceso de clasificación hasta que el manglar quedara totalmente aislado. Todos los análisis se hicieron utilizando ERDAS Imagine 9.1.

- Clasificación jerárquica

El proceso de segmentación de imágenes se define como “la búsqueda de regiones homogéneas en una imagen para su posterior clasificación” (Mather, 1999). La particularidad de la segmentación es que la clasificación se realiza con base en objetos y no a píxeles; es decir, agrupando los píxeles adyacentes para luego clasificar los objetos extraídos, aumentando el número de parámetros a valorar con criterios como el tamaño, la forma, medias de color, máximos y mínimos, proximidad a otros objetos, textura, etc. La segmentación reduce el número de objetos a clasificar y el tiempo de procesamiento (Arroyo, 2005).

En el programa eCognition (*Definiens Professional Earth 5.0*) la segmentación se realiza de la siguiente forma: los píxeles son agrupados en polígonos cuando sus valores en los diferentes productos empleados son semejantes. El grado de similitud varía en función de la máxima heterogeneidad permitida para un objeto en la imagen, definida por el parámetro “factor de escala” (scale factor). Además se incluye el criterio de homogeneidad definido por el parámetro “compactibilidad” (*compactness*) que optimiza el objeto en la imagen en relación al conjunto, y la forma (*shape*) que ayuda a evitar la alta fragmentación del objeto en la imagen. Se realizaron diferentes pruebas para definir los valores en el proceso de segmentación de

estos parámetros, identificándose para nuestro objetivo los siguientes: *scale parameter*: 4, *compactness*: 0.8, y *shape* 0.2. En este caso la segmentación permitió agrupar píxeles con respuesta espectral similar teniendo en cuenta las 4 bandas de SPOT.

Tras la segmentación de los datos se clasificaron las escenas empleando una relación lógica de conjunción “AND” para enlazar los siguientes argumentos expuestos por orden jerárquico: el valor del Modelo Digital del Terreno; los valores promedio de la banda 4 (que eliminan en gran medida respuestas de áreas de cultivos), luego el valor del Índice 4/3 (cociente entre las bandas 4 y 3), y el valor del Índice 4/2 (cociente entre las bandas 4 y 2). El resultado es “verdadero” si todos los argumentos son verdaderos.

Los valores umbral para generar el Índice 4/3 abarca todo lo que puede ser el manglar en sí, y luego los valores umbral del Índice 4/2 permite identificar lo que pueden ser otros tipos de manglares. La Figura 2 muestra el comportamiento de los valores umbrales para cada Índice calculado para las 39 imágenes SPOT de la Península de Yucatán. Los umbrales para el índice 4/3 son más estables y hay menos diferencia entre sus valores mínimo y máximo; los umbrales se correlacionan entre sí en cada imagen., a diferencia de los umbrales para el índice 4/2. En promedio los umbrales de los índices 4/3 están entre 0 y 1 y los de los índices 4/2 entre 0.5 y 2.5.

La inestabilidad en los umbrales puede deberse a varias causas. Entre ellas, que las imágenes fueron tomadas por diferentes satélites SPOT, que no se realizó una corrección atmosférica, que se tomaron en diferentes estaciones del año o antes o después de un evento meteorológico como los huracanes.

En el presente trabajo se utilizó la segmentación de imágenes del satélite SPOT a través del programa eCognition *Definiens Professional Earth 5.0* en función de aplicar clasificaciones jerárquicas en los manglares de la Península de Yucatán. Este proceso se hizo de forma paralela a las clasificaciones no supervisadas, debido a que los métodos de clasificación en Erdas Imagine requieren de un buen conocimiento del área a clasificar y de que son procesos relativamente largos.

El método de aplicar valores umbrales en diferentes cocientes de bandas se utilizó en ERDAS Imagine para algunas otras regiones del país implementando un modelo como se muestra en el Anexo 2, encontrándose que para cada región existen valores umbrales diferentes, por lo que no puede ser utilizado de forma general.

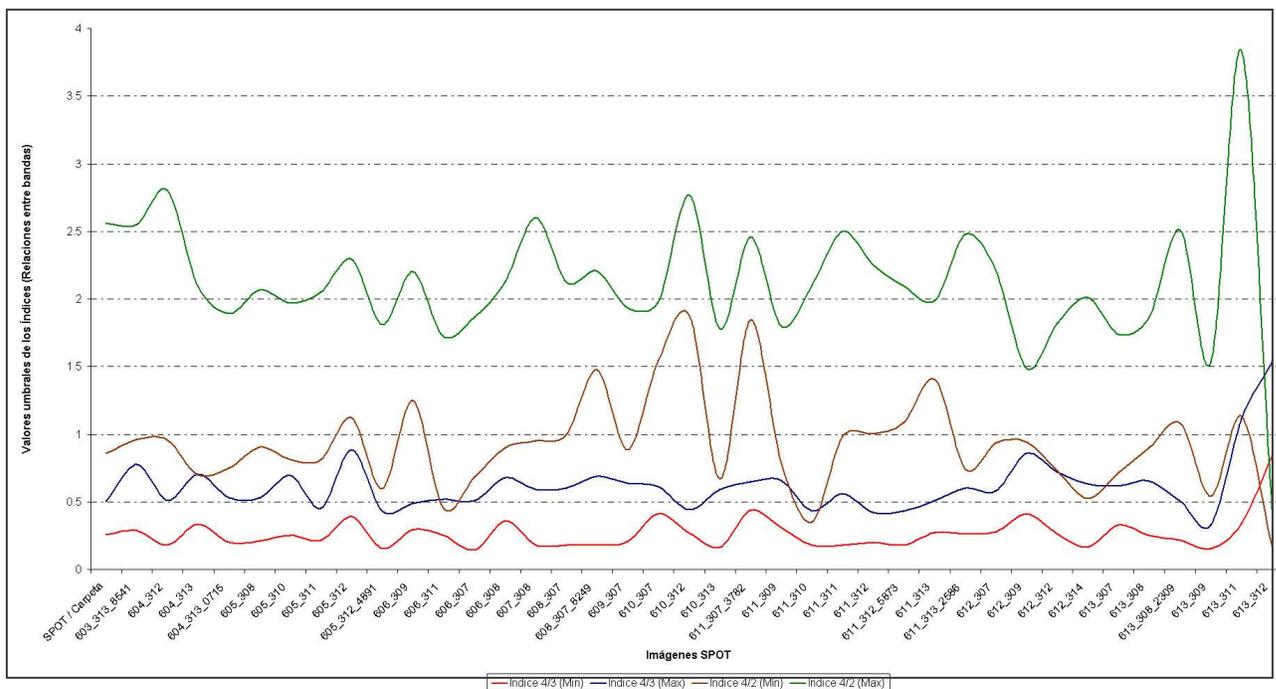


Figura 2. Valores umbral de los cocientes de bandas 4/3 y 4/2 en las 39 imágenes SPOT de la Península de Yucatán utilizadas para identificar áreas ocupadas por manglar.

e. Esquema de clasificación de los manglares

En cuanto al sistema de clasificación utilizado, se realizaron dos reuniones interinstitucionales (CONAFOR, INE, CONAGUA e INEGI) en julio y agosto de 2006 en las instalaciones del INEGI; en las que se acordó utilizar la clasificación propuesta en la Tabla 4, a pesar de que esta clasificación no fue la planteada originalmente para este proyecto es un sistema útil que se puede aplicar a todos los manglares del país. De acuerdo con el INEGI esta división representa clases informativas relacionadas con el desarrollo de la vegetación. La definición de manglar que se adoptó fue la siguiente:

“formación leñosa, densa, arbórea, o bien arbustiva, de 1 a 30 m de altura, compuesta de una o varias especies de mangles, prácticamente sin plantas herbáceas y trepadoras. Las especies que lo componen son de hoja perenne, algo suculenta y de borde entero. En México son cuatro las especies más características de los manglares: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*. Todas se presentan tanto en el litoral del Atlántico como en el del Pacífico y a menudo se hallan en la misma comunidad, aunque en otros sitios pueden faltar una o más. En cuanto a la

influencia climática, la distribución del manglar en México está regida principalmente por la temperatura, pues esta comunidad sólo prospera en zonas cálidas. Se desarrolla en ambientes estuarinos, a la orilla de lagunas y cerca de desembocaduras de ríos. Los manglares desempeñan un papel fundamental en la protección de la línea de costa, la prevención de inundaciones, barreras de huracanes y tsunamis y en el mantenimiento de la calidad del agua, además son zonas de alimentación, refugio y crecimiento de juveniles de crustáceos y alevines de importancia comercial, así como de otras especies de la fauna silvestre”.

La clasificación propuesta permitirá que los resultados de los proyectos que cada institución genere en cuestiones de manglares sean compatibles y comparables entre sí; útiles para un mayor número de usuarios y para los productos diseñados como herramienta para identificar oportunamente sitios de conservación, manejo o rehabilitación de manglares y definir con ello las acciones necesarias para su protección por las autoridades e instituciones correspondientes.

Tabla 4. Clasificación del manglar consensuada interinstitucionalmente.

Tipo	Altura (m)
Manglar arbóreo alto	Mayor a 30
Manglar arbóreo medio	15-30
Manglar arbóreo bajo	4-15
Manglar arbustivo	Menor a 4

f. Análisis vectorial

Los mapas producto de la clasificación de imágenes se almacenaron en formato raster; para transformarlos a formato vector fue necesario generar mosaicos con los mapas por región y por zona en la proyección cartográfica Universal Transversa de Mercator. Posteriormente se importaron los mosaicos a formato grid (celdilla) y cada uno se transformó en formato vector conservando todos los píxeles clasificados como manglar.

El área mínima cartografiable para la escala propuesta en el presente trabajo (1:50,000) es de 4 mm², que representa 10,000 m² (una hectárea). Los criterios de escala y área mínima

establecidos fueron aplicados a cada resultado en formato vector para generar el resultado a escala 1:50,000, eliminando los polígonos menores a una hectárea.

Con el objeto de presentar en un solo mapa la distribución del manglar, para facilitar el manejo y análisis, los mapas resultantes a escala 1: 50,000 fueron transformados de la proyección cartográfica original UTM a proyección Cónica Conforme de Lambert, Datum Nad27 y elipsoide Clarke 1866, esta proyección es adecuada para representar toda la República Mexicana (INEGI, 1987). También se cuenta con un mapa en el cual se respetaron los polígonos originales que se generaron a partir de la clasificación de las imágenes (menores a 1 ha). Todos los análisis se hicieron en ARC/Info.

g. Verificación de campo

El trabajo de campo tuvo dos objetivos generales. Por una parte se obtuvieron registros de campo de la posición de áreas con cobertura de manglar, para evaluar el resultado de la clasificación. Por otra parte, se obtuvieron datos sobre la estructura del manglar, a fin de determinar posibles relaciones entre los parámetros de la estructura forestal y la respuesta espectral detectada.

Se realizaron visitas a localidades definidas por su tipo de cobertura para verificar la presencia de manglar, ubicando los diferentes sitios con un GPS Garmin Etrex Vista portátil (aprox. 5 m de precisión). Además, se hizo la recopilación de diferentes bases de datos con información georreferenciada de la distribución de los manglares de México. Algunas de estas bases contenían información reciente de la estructura forestal de los manglares y con fechas similares al registro de las imágenes de satélite utilizadas en nuestra clasificación.

Se realizó una visita al CINVESTAV-Mérida con el objeto de verificar los resultados obtenidos para la zona de Petenes. Se llevaron a cabo dos salidas: el 26 de junio a la zona costera de la ciudad de Progreso y el 28 de junio a Celestun, Yucatán. Los petenes observados son zonas de manglares con las cuatro especies más importantes registradas para México. En las imágenes de satélite los petenes están bien diferenciados del resto del paisaje. Se visitaron zonas en rehabilitación y restauración, comprobándose que los petenes pueden ser diferenciados con sensores remotos.

Se realizó una visita a Tamaulipas para verificar la distribución inferida a partir del trabajo de gabinete y de campo realizado con personal de la Universidad de Tamaulipas y del Área Natural Protegida de Laguna Madre. Tal como se registró en el mapa generado en el proyecto la distribución más importante de los manglares para el estado está alrededor de La

Pesca, pero el personal con el que se trabajó indicó la presencia de pequeños polígonos de manglar en latitudes mayores y se comprometieron a georreferirlos en el corto plazo, con lo cual se podrá establecer con precisión el límite septentrional de la distribución de los manglares en el Golfo de México, aún cuando por su tamaño no sea posible representarlos en un mapa a escala 1:50,000.

Otra consulta para verificar la presencia de manglares se realizó para Cabo Punta Banda, Baja California. Se consultó a especialistas de la UABCS, UABC, CIEeco-UNAM, CONANP y UdeG. Tres afirmaron que los polígonos no correspondían a cobertura de manglar y dos confirmaron que sí había manglar, por lo que hace falta verificación en el campo.

Finalmente, se realizó una consulta de verificación para la Laguna de Mecoacán en Tabasco, en la que se tenía duda sobre el tipo de vegetación considerada como manglar en la clasificación de la imagen de un área cercana a la laguna. A partir de una consulta con un especialista de la UJAT, donde se desarrollan trabajos relativos al manglar en todo el estado, se confirmó que el sitio de interés correspondía a un manglar en regeneración.

- **Estimación de exactitud**

La exactitud del mapa se evaluó con una matriz de error para la República Mexicana, y una matriz por Región, cuando los datos de campo fueron suficientes, con el coeficientes de exactitud total y Kappa (Congalton y Green, 1999). Los datos de referencia para construir las matrices de error se obtuvieron de muestreos de campo asistidos por el sistema de posicionamiento global descrito anteriormente y de bases de datos de otras fuentes. Una vez obtenido un estimador del coeficiente de Kappa (K') mayor a 0.8 (Landis y Koch 1977), lo que es un nivel de exactitud satisfactorio para el proceso de clasificación, puede considerarse que el mapa llegó a su versión final.

III. Determinación de la estructura forestal de los manglares

Se llevaron a cabo transectos siguiendo el método de cuadrantes centrados en un punto (*PCQM* por sus siglas en inglés), diseñado por Cottam y Curtis (1956) y modificado por Cintrón-Molero y Schaeffer-Novelli (1983). Cada transecto fue referenciado geográficamente por lo menos en su inicio, ya que en ocasiones la densidad del dosel impedía una clara recepción de la señal de los satélites.

En términos generales, el método *PCQM* consiste en el establecimiento de puntos de muestreo a lo largo de un transecto. La distancia entre los puntos debe asegurar que ningún

árbol del punto anterior sea registrado en el punto de muestreo siguiente y; se recomienda que los transectos se tracen perpendiculares a la línea de costa (Agraz-Hernández *et al.* 2006).

En cada punto, con el apoyo de una cruceta, se definen los cuadrantes correspondientes y en cada uno de ellos se ubica el árbol más cercano al punto central (incluyendo especies que no sean mangles). Se consideran los árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP aprox. 1.30 m) superior a 2.5 cm, se mide la distancia en metros entre el árbol y el punto central. En árboles con tallos múltiples se considera el fuste central para registrar la distancia (Dahdouh-Guebas y Koedam, 2006). Para cada uno de los cuatro individuos se registra su circunferencia o DAP. En este estudio en árboles con tallos múltiples se registró el diámetro del tallo principal. En *Rhizophora mangle* este dato se toma a 30 cm por arriba de las raíces adventicias. Se registra la altura y la especie de cada individuo.

A partir de los datos registrados en campo se obtuvieron los descriptores de estructura forestal (área basal, densidad, dominancia, frecuencia y valor de importancia) de cada especie de manglar en cada uno de los sitios trabajados. El área basal indica el grado de desarrollo presente en los manglares y puede ser relacionada con los resultados de la clasificación de imágenes. Para la obtención de estos descriptores se usó el programa gratuito P-DATA PRO (versión 1.05) Dahdouh-Guebas y Koedam (2006) para 100 puntos de muestreo⁴. Para accederlo se requiere de la clave única: *pcqmapnavub*. Los datos de la estructura de la vegetación de cada uno de los sitios fueron integrados en un análisis de componentes principales para analizar la variación de los descriptores de la estructura forestal entre los sitios estudiados, utilizando el programa MVSP (Multivariate Statistical Package).

IV. Identificación de relaciones entre variables biológicas y grupos espectrales

Para obtener la relación de la estructura forestal del manglar con las clasificaciones resultantes de los mapas generados, la información obtenida en el campo con ayuda del GPS permitió reunir datos de localización de áreas con manglar (puntos de control) y ubicar los transectos realizados para determinar la estructura forestal.

En lo que respecta a este objetivo, sólo se hicieron los análisis en la Región Pacífico Norte, de donde se contó con el mayor número de datos de campo. A partir de los mapas temáticos producto de la clasificación de este proyecto, se separaron los distintos grupos espectrales encontrados dentro de la clase manglar, con un nuevo proceso de clasificación no

⁴ Este programa puede ser descargado en la página http://www.vub.ac.be/APNA/staff/FDG/pub/P-DATA_PRO_100.xls.

supervisada con el clasificador iterativo ISOCLUST sobre el área general clasificada como manglar. Posteriormente estos grupos fueron utilizados como campos de entrenamiento para generar las firmas espectrales y realizar una depuración de su número. Los grupos resultantes se etiquetaron con la información generada en los puntos de control tomados en el campo, en dos clases generales: manglar arbustivo y manglar arbóreo.

V. Diseño del Sistema de Información Geográfica (SIG)

Se determinó desarrollar el Sistema de Información Geográfica con programas y herramientas de código abierto (OpenSource) y hacerlo accesible a través de la nueva página Web de Geoinformación de la CONABIO. De esta manera se cubre el objetivo de facilitar la información al público usuario, interesado e involucrado en el estudio de los manglares mexicanos. Además, tendrá la propiedad de incorporar información nueva o histórica, con lo que se podrá monitorear los cambios en los ecosistemas de manglar.

El sistema mostrará información general y de uso común para propósitos diversos, como división política estatal o tipos de clima, e información particular producto de este proyecto, como los polígonos de manglar obtenidos de las imágenes SPOT o los datos proporcionados por los especialistas. El sistema se desarrollará sobre una arquitectura técnica basada en un sistema Windows, con un servidor *Web Apache* y un servidor de aplicaciones *Java Apache Tomcat* (figura 3). El software que se utilizará para proporcionar los servicios de información geográfica será *GeoServer*.

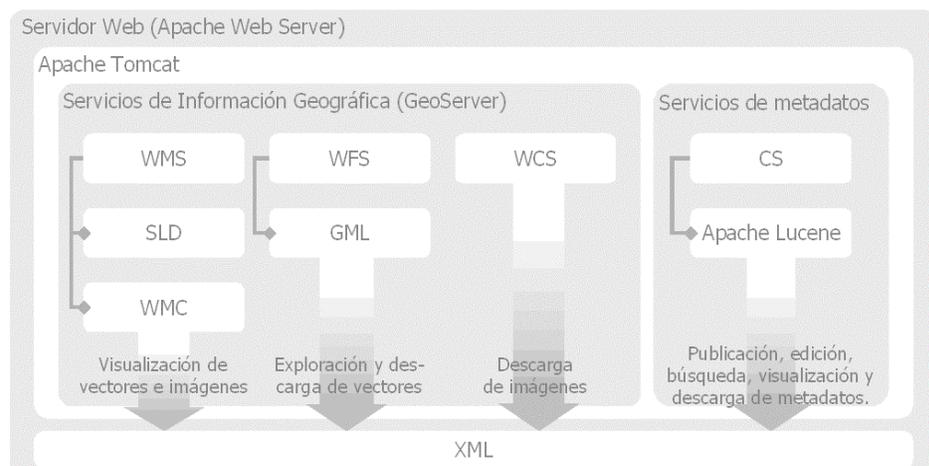


Figura 3. Diagrama del servidor Web del Sistema de Información Geográfica de la CONABIO.

La función del servidor de aplicaciones (servidor Web) será la de proporcionar los servicios y herramientas necesarias para acceder a los acervos de información geográfica. La propuesta del sistema está de acuerdo con un modelo de arquitectura orientado a servicios, e integrará:

1. Servicios de información geográfica; y
2. Servicios de búsqueda de bases de metadatos.

Los servicios de información geográfica estarán basados en las especificaciones definidas por el *Open Geospatial Consortium*. Las especificaciones y sus versiones serán las siguientes:

1. Web Map Service (WMS) v. 1.1.1;
2. Web Feature Service (WFS) v. 1.1.0;
3. Web Coverage Service (WCS) v. 1.0.0;
4. Web Map Context (WMC) v. 1.0.0;
5. Styled Layer Descriptor (SLD) v. 1.0.0;
6. Geographic Markup Language (GML) v. 2.1.2;
7. Filter Encoding (FE) v. 1.0.0; y
8. Catalog Services (CS) v. 2.0.1.

La página Web (cliente Web) tendrá como objetivo ofrecer servicios de acceso a la información geográfica disponible en la CONABIO (Figura 4) y de forma particular, la generada en este proyecto, con la peculiaridad de:

1. Examinar información detallada sobre la cartografía disponible, a través de los registros de metadatos;
2. Tener una vista gráfica de la información;
3. Obtener la información en un formato adecuado, conforme a los permisos de distribución aplicables en cada caso.

Las funciones básicas de la página Web serán:

1. Visualización interactiva de cartografía;
2. Exploración de atributos;
3. Exploración de metadatos;
4. Búsqueda en metadatos;
5. Búsqueda en tablas de atributos;
6. Descarga de cartografía, imágenes o fotografías aéreas.

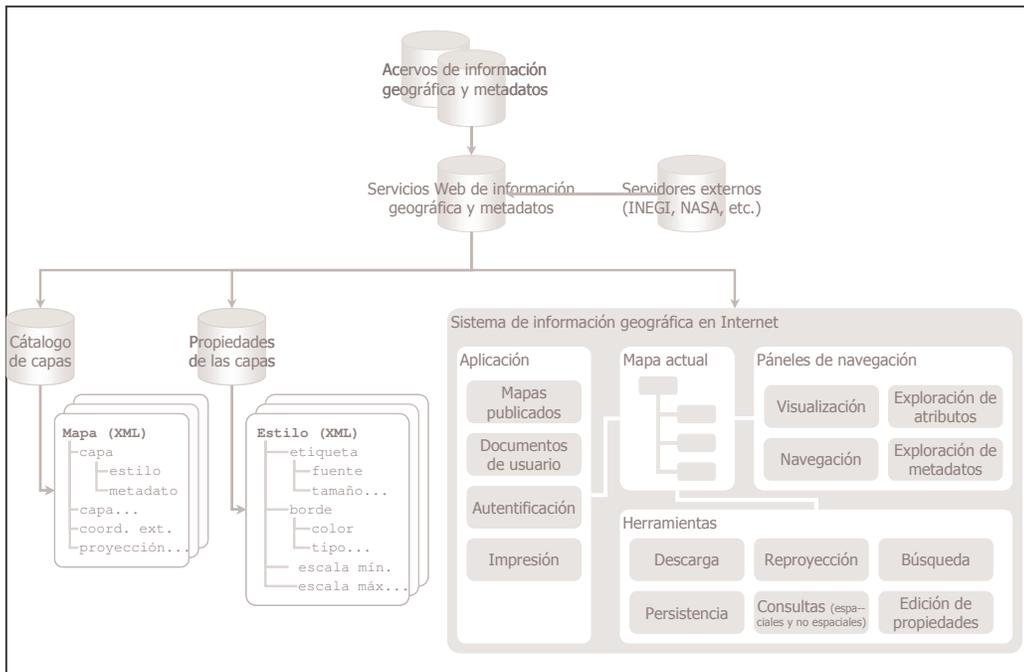


Figura 4. Diagrama de los servicios y funciones de la página Web (cliente Web).

Resultados

I. Extensión y distribución actual de los manglares en México.

Se recibieron 950 imágenes SPOT, de las cuales se seleccionaron y georreferenciaron solamente 228, porque muchas tenían nubes y otros errores. De éstas se realizó la clasificación de 133 y en las zonas donde no se cubrió con datos del satélite SPOT se utilizaron tres imágenes Landsat-5 (TM) para el Pacífico Norte del 2005 proporcionadas por el Laboratorio de Manejo Ambiental del CIAD-Mazatlán y dos imágenes del acervo de la CONABIO (Landsat 7, ETM+, 2001), para el Pacífico Sur y la Península de Yucatán.

Un problema en la georeferenciación fue que no se contaba con las ortofotos que cubrieran la imagen; por lo que fue necesario utilizar imágenes del satélite Landsat-7 (ETM+) de los años 2000 y 2002 del acervo de la CONABIO, lo que disminuyó la precisión de la georeferenciación para algunas zonas (Tamaulipas, Ría Lagartos en Yucatán y Puerto Morelos y Sian Ka'an en Quintana Roo). Esto se mejorará cuando se cuente con imágenes de referencia más precisa.

Al mapa temático producto de la clasificación no supervisada y de la clasificación jerárquica, así como del análisis vectorial y de la verificación de campo, se obtuvo un valor de exactitud global de la clasificación de 83.1%, a partir de 1,041 puntos de control, más adelante se describe la procedencia de estos datos de campo (tabla 5)

Tabla 5. Estimación de la cobertura de manglar y evaluación de la exactitud de la clasificación

Clasificación	Datos de referencia			
	Clase	Manglar	No manglar	Total
Manglar		865	176	
EP %		100.0	N	1,041
EU %		83.1	Exactitud	83.1

Nota: EU:Exactitud del productor; EP: Exactitud del usuario

Al respecto, es importante señalar que sólo se evaluó la exactitud global del mapa con la información disponible. No fue posible estimar el índice de Kappa ya que la información de campo (la evaluación de otras clases en el mapa) fue insuficiente. A pesar de esto, se considera que el coeficiente de exactitud global corresponde a una clasificación con concordancia elevada entre los datos de referencia y los resultantes de la clasificación, se asumió que los mapas temáticos generados representan adecuadamente la distribución de los manglares de México,

por lo que se procedió a estimar su extensión, que sumó 683,881 hectáreas de manglar para el año de 2005. Si los datos se toman a escala 1:50,000 hay una disminución del 4.12% por el principio de área mínima cartografiada y la cifra es de 655,667 hectáreas distribuidas en diecisiete entidades federativas ubicadas en las costas del Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe (Figura 5). La mayor extensión de manglares la obtuvo la región PY con el 52% del total nacional (Tabla 6) y la menor en la región con solo el 1.16%.

Tabla 6. Superficie en hectáreas de la cobertura de los manglares de México por regiones básicamente con imágenes SPOT de 2005.

Región	Cobertura	
	ha	%
Pacífico Norte (PN)	186,891	27.32
Pacífico Centro (PC)	7,578	1.11
Pacífico Sur (PS)	65,916	9.64
Golfo de México (GM)	74,244	10.86
Península de Yucatán (PY)	349,252	51.07
Total Nacional	683,881	100.00

Es importante indicar las diferencias que se obtienen al reportar los resultados a escala 1:50,000, a pesar de que cada polígono de manglar eliminado representa una subestimación del área estimada, con motivo de manejo de datos y de distribución de los mismos se reportan tanto las cifras estimadas a escala 1:50,000, así como las cifras originales y las diferencias en hectáreas y en porcentaje en la Tabla 7.

Tabla 7. Cobertura en hectáreas y porcentaje por región y diferencias entre los datos originales y los datos escala 1:50,000.

Región	CONABIO (ha)		Relación con la cobertura total			
	Originales	1:50 000	D*	Original %	1:50:000 %	D* %
Pacífico Norte	186,891	171,910	14,981	27.33	26.22	2.19
Pacífico Centro	7,578	6,715	863	1.11	1.02	0.13
Pacífico Sur	65,916	63,519	2,397	9.64	9.69	0.35
Golfo de México	74,244	71,689	2,556	10.86	10.93	0.37
Península de Yucatán	349,252	341,835	7,417	51.07	52.14	1.08
Total	683,881	655,667	28,214	100.00	100.00	4.12

Nota: D*: Diferencia. , D* %, es el porcentaje de la diferencia.

En relación con las 17 entidades, el estado de Campeche posee el 29.9% de los manglares del país, seguido por Yucatán, Sinaloa y Nayarit con el 12.2, 10.8 y 10.2% respectivamente. Los estados con menor cobertura fueron Colima, Tamaulipas y Baja California.

Tabla 8. Superficie en hectáreas por entidad federativa de la cobertura de los manglares de México (2005).

Estado	Cobertura (ha)		%
	Originales	1:50 000	
BC	36	28	0.004
BCS	26,390	24,327	3.710
Campeche	198,363	196,552	29.977
Colima	3,569	3,192	0.487
Chiapas	39,627	39,707	6.056
Guerrero	9,151	8,093	1.234
Jalisco	2,275	2,023	0.308
Michoacan	1,734	1,500	0.229
Nayarit	71,912	66,977	10.215
Oaxaca	17,138	15,718	2.397
Quintana Roo	69,034	64,755	9.876
Sinaloa	78,180	71,225	10.863
Sonora	10,372	9,353	1.426
Tabasco	35,928	35,191	5.367
Tamaulipas	3,136	2,410	0.368
Veracruz	35,181	34,089	5.199
Yucatán	81,854	80,528	12.282
Total	683,881	655,667	100.000

El mapa final con la cobertura de la distribución y extensión actual de los manglares de México se aprecia en la Figura 5. En el Anexo 3 se entrega el mapa en formato vectorial con el metadato correspondiente. El mapa se entrega con la clase manglar, pero se conserva el campo *clave_tipo* con tipo de dato numérico que ayudará posteriormente a asignar las categorías fisonómicas correspondientes con base a un proceso de validación de campo previsto en las próximas etapas de este proyecto (Anexo 4).



Figura 5. Distribución y extensión actual de los manglares en México, producto de la clasificación de datos SPOT (2005-2006).

En lo que respecta a la confiabilidad de los resultados, se realizaron consultas en bases de datos con registros de manglar en toda la república pertenecientes a CONAFOR, SNIB-CONABIO, CIAD-Mazatlán, ECOSUR y la generada en este proyecto. La información debía estar georreferenciada y en algunos casos se contaba con las alturas de las especies de manglar y con otra información relevante de la estructura forestal de los manglares del país (Tabla 9). Aunque los resultados obtenidos son confiables, aún es necesario hacer una validación de campo a nivel nacional para la que se contempla la participación de instituciones regionales. Dicho periodo de validación se llevará a cabo entre agosto de 2007 y febrero de 2008.

Tabla 9. Datos de campo por región y la exactitud estimada. Otro para la región PN corresponde al CIAD-Mazatlán y para la región PS al ECOSUR.; c: puntos correctos en la clasificación y en campo, i: puntos incorrectos

PN	CONAFOR		SNIB		Otro		Generó proyecto CONABIO		Total			Exactitud (%)
	c	i	c	i	c	i	c	i	C	i	t	
BCS	-	-	-	4	166	11	-	-	166	15	181	91.71
Nayarit	-	-	16	8	28	3	5	-	49	11	60	81.67
Sinaloa	10	14	11	1	57	2	-	-	78	17	95	82.11
Sonora	0	0	-	-	121	9	-	-	121	9	130	93.08
Total	10	14	27	13	372	25	5	0	414	52	466	88.84
PS												
Chiapas	42	7	22	-	36	10	-	-	100	17	117	85.47
Guerrero	4	0	-	3	-	-	-	-	4	3	7	57.14
Oaxaca	4	7	1	5	-	-	9	1	14	13	27	51.85
Total	50	14	23	8	36	10	9	1	118	33	151	78.15
PC												
Jalisco	0	1	4	8	-	-	8	2	12	11	23	52.17
Michoacan	1	0	-	-	-	-	-	-	1	0	1	100.00
Total	1	1	4	8	-	-	8	2	13	11	24	54.17
GM												
Tabasco	11	2	22	9	-	-	-	-	33	11	44	75.00
Tamaulipas	0	0	9	13	-	-	-	-	9	13	22	40.91
Veracruz	22	16	30	-	-	-	10	-	62	16	78	79.49
Total	33	18	61	22	-	-	10	-	104	40	144	72.22
PY												
Quintana Roo	13	6	13	-	-	-	8	2	34	8	42	80.95
Campeche	71	23	30	1	-	-	-	-	101	24	125	80.80
Yucatán	11	8	70	-	-	-	-	-	81	8	89	91.01
Total	95	37	113	1	-	-	8	2	216	40	256	84.38
Total Nacional	189	84	228	52	408	35	40	5	865	176	1041	83.09

II. Estructura forestal de los manglares

Se realizó un total de 45 transectos, en los que se registró un total de 1784 individuos de 15 especies. Considerando los resultados obtenidos a partir del reporte del programa P-DATA PRO (versión 1.05), la altura fue de $6.7 \text{ m} \pm 2.2 \text{ m}$, las densidad de 1106 ± 508 individuos por hectárea, un área basal de $16.8 \pm 5.2 \text{ m}^2$ por hectárea, el DAP fue de $11.4 \text{ cm} \pm 3.7$ y una diversidad de 5.8 ± 3.1 especies. En tres de los cinco sitios la especie con mayor valor de importancia fue *Avicennia germinans*. En la Tabla 10 se muestran los resultados obtenidos para las cinco regiones.

Tabla 10. Promedios de densidad, área basal, altura en cinco localidades correspondientes a las regiones consideradas en este trabajo. Se indica el número de especies y especie dominante para cada una de las localidades.

Región	Sitio	Densidad ind · ha	Área basal m ² · ha ⁻¹	Altura (m)	No. de especies	Especie dominante
PN	Marismas Nacionales, Nayarit	1846	18.21	4.3	3	<i>Avicennia germinans</i>
GM	Alvarado, Veracruz	591	22.80	10.1	6	<i>Avicennia germinans</i>
PY	Sian Ka'an, Quintana Roo	672	8.37	5.4	11	<i>Avicennia germinans</i>
PC	Costa Alegre, Jalisco y Colima	1281	17.23	6.1	4	<i>Laguncularia racemosa</i>
PS	Chacahua, Oaxaca	1140	17.34	7.5	5	<i>Rhizophora mangle</i>

Estructuralmente cada uno de los sitios mostró particularidades debidas a sus rasgos ambientales predominantes tales como dinámica estacional, dinámica de inundación, hidrología, topografía, eventos meteorológicos, etc. Una de las generalidades que es importante destacar es que en la mayoría de los sitios de trabajo (excepto Alvarado), las franjas de manglar son angostas, lo que logísticamente representa un inconveniente en el método, que es la imposibilidad de realizar los transectos de manera perpendicular a la línea de agua, como generalmente se recomienda. Sin embargo, los transectos paralelos al cuerpo de agua también son representativos y de igual forma se pueden asociar con las características espectrales de la imagen de satélite, el cuál fue uno de los objetivos de esta investigación.

En lo que respecta al análisis de componentes principales, el primer componente principal explicó el 56 % de la variación de los datos. Este componente está determinado por el diámetro de los árboles censados. El segundo componente explicó el 42 % de ésta variación y en este caso esta principalmente influenciado por la composición de especies de cada uno de los sitios. La representación gráfica de este análisis mostró una ordenación de los sitios dependiendo de las características estructurales que los están determinando. Por ejemplo, Alvarado, Veracruz presenta la mayor cantidad de árboles con más altura y mayor diámetro que los otros cuatro sitios. Marismas Nacionales es el sitio que presenta la mayor densidad de árboles, mientras que Sian Ka'an fue el sitio que tuvo una mayor riqueza de especies (Figura 6).

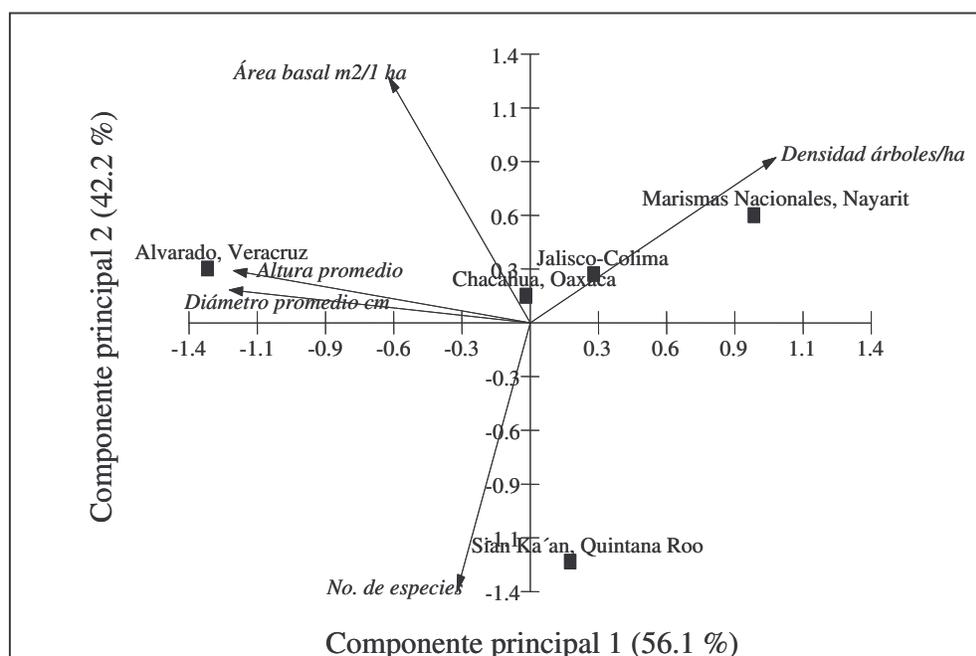


Figura 6. Ordenación de los cinco sitios de estudio de acuerdo con las características estructurales de la vegetación de los manglares.

Es importante mencionar que se obtuvo un gran apoyo interinstitucional para realizar el trabajo de campo en las cinco regiones de estudio. El tipo de apoyo recibido se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Apoyo institucional para realizar el trabajo de campo en las regiones de estudio con el fin de obtener la estructura de la vegetación.

Región	Sitio visitado	Institución de apoyo	Tipo de apoyo				
			Vehículo terrestre	Lancha	Realización de transectos	Guía	Facilidades de hospedaje
PN	Marismas Nacionales, Nayarit	INEGI	√	-	√	-	-
GM	Alvarado, Veracruz	UV	-	√	√	√	-
		IB-UNAM	√	-	√	-	-
PY	Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Quintana Roo	CONANP	√	√	√	√	√
		IE-UNAM	-	-	√	-	-
PC	Jalisco	UdG	√	√	√	√	-
		IE-UNAM	-	-	√	-	-
PS	Parque Nacional Lagunas de Chacahua, Oaxaca	CONANP	-	√	-	√	√
		IE-UNAM	-	-	√	-	-
		IB-UNAM	√	-	√	-	-

Los transectos realizados para obtener la estructura de la vegetación del manglar y sus coordenadas UTM se listan en la tabla 12.

Tabla 12. Relación de los transectos realizados en cada una de las regiones y sus coordenadas UTM.

Región Golfo de México: Alvarado, Veracruz (Octubre 2006)			Región Pacífico Centro: Jalisco (Mayo 2007)		
Transecto	Longitud	Latitud	Transecto	Longitud	Latitud
1	199318	2065870	1	533971	2123121
2	205460	2064414	2	520867	2134483
3	205286	2064983	3	516421	2134245
4	205350	2065116	4	513110	2132418
5	206744	2067585	5	476461	2173461
6	206346	2075789	6	478149	2173321
7	211628	2063247	7	447255	2213848
8	212404	2069287	8	447128	2214131
9	209686	2074742	9	520536	2134684
10	207487	2076004	10	537489	2119988
Región Península de Yucatán: Sian Ka'an, Quintana Roo (Mayo 2007)			Región Pacífico Sur: Chacahua, Oaxaca (Mayo 2007)		
Transecto	Longitud	Latitud	Transecto	Longitud	Latitud
1	449904	2189377	1	639337	1766190
2	453045	2203479	2	640214	1767089
3	451187	2177908	3	639463	1766502
4	452464	2152090	4	644636	1767452
5	455448	2168676	5	643784	1767389
6	448479	2191325	6	643413	1767349
7	429913	2169074	7	640795	1765859
8	433241	2166028	8	637224	1768144
9	441936	2110894	9	636913	1768018
10	445896	2127071	10	641813	1768590
Región Pacífico Norte: Marismas Nacionales, Nayarit (Agosto 2006)					
Transecto	Longitud	Latitud			
1	451523	2428193			
2	451775	2426272			
3	445276	2415431			
4	454624	2405730			
5	453474	2406213			

A continuación se reportan los resultados de la estructura forestal por Regiones de trabajo:

Región Pacífico Norte (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit)

El sitio de trabajo correspondiente a la Región Pacífico Norte se localiza en el sistema Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales localizado entre los 22° 04' y 22° 35' de latitud norte y los 105° 20' y 105° 50' de longitud oeste. Se ubica en la depresión central que subsiste entre las llanuras aluviales deltáicas de los ríos San Pedro, Acaponeta y Grande de Santiago. Presenta dos bocas, una al norte (Teacapán) y otra al sur "Palmar de Cuautla". El Estero de Teacapán se comunica al norte con el sistema litoral del estero de Majahual mediante el estero del Maíz. El estero de Majahual está conformado por las lagunas de: Cerritos, Grande, Cañales, Sábalo y Agua Grande y los esteros de Majahual y Teacapán, recibiendo los afluentes de los ríos Baluarte y Cañas. Al sur de este complejo están el estero de Cuautla y las lagunas de:

Agua Brava, del Valle, Pericos, Mojarras, los Vergeles, Pararrayo, Gavilán, Pescadero, Chihuiles, el Cumbeño, de la Sal y Carabado, entre las más importantes.

Se trata de un sistema de plataforma de barrera interna con depresiones inundadas en los márgenes internos del borde continental rodeado por superficies terrígenas en sus márgenes internos y protegido del mar barreras arenosas producidas por corrientes y olas. La antigüedad de la formación de la barrera data del establecimiento del nivel del agua actual, en los últimos 5 mil años. Los ejes de orientación son paralelos a la costa, batimétricamente son típicamente muy someros, excepto en los canales erosionados, modificados principalmente por procesos litorales como huracanes o vientos. Es una depresión de planicie costera con múltiples barreras arenosas separadas linealmente; de escurrimiento ausente o estacional o local; forma y batimetría suavemente modificadas por acción mareal y procesos no marinos; salinidad altamente variable, desde levemente salobre hasta hipersalino; llega a secarse estacionalmente (Centro de Documentación “Ecosistemas Litorales Mexicanos”⁵)

El trabajo de campo se realizó en Marismas Nacionales Nayarit en Laguna Grande de Mexcaltitán, Toro Mocho y Pueblo Nuevo del 15 al 17 de agosto del 2006. Se realizaron 5 transectos, en los que se registraron un total de 200 árboles correspondientes a tres especies de manglar: *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*. El esfuerzo de trabajo en esta zona fue menor en relación a las otras regiones debido al trabajo previo con que se cuenta para esa zona. La altura promedio fue de 4.3 ± 1.2 m, con una densidad de 1846 árboles por hectárea, un área basal promedio de 18.21 m^2 por hectárea, el diámetro promedio fue de 8.2 ± 7.6 cm. El mayor valor de importancia lo obtuvo *A. germinans*, por su dominancia, seguida de *L. racemosa* y *R. mangle*. La estructura de la vegetación se muestra en las Figuras 7 y 8. El reporte generado por el programa P-DATA PRO con los descriptores de la estructura forestal (área basal, densidad, dominancia, frecuencia y valor de importancia) de cada especie de manglar se presenta en el Anexo 5 y Anexo 5a.

⁵ <http://investigacion.izt.uam.mx/ocf/base.html>

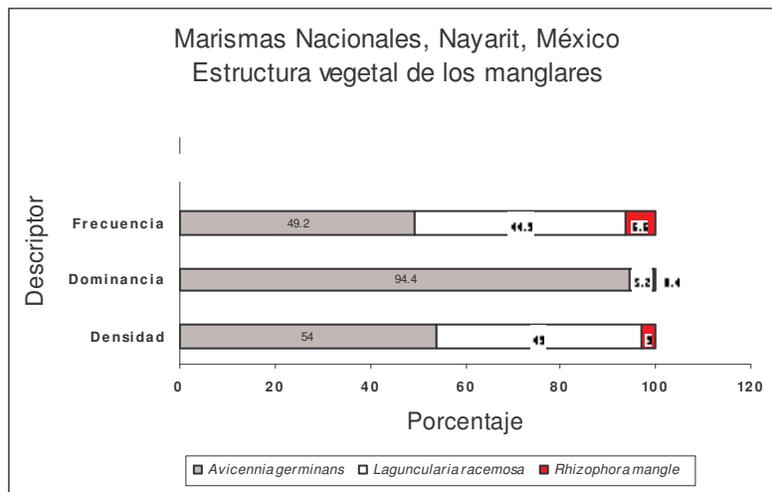


Figura 6. Densidad, dominancia y frecuencia de las especies registradas en Marismas Nacionales, Nayarit, México.

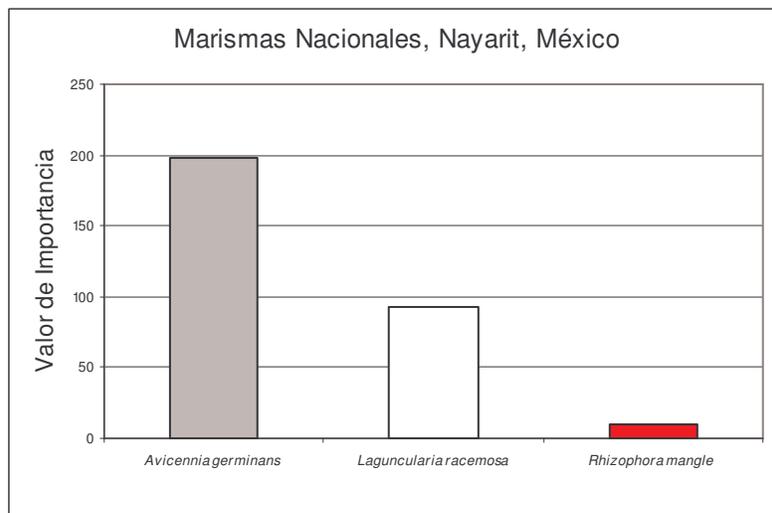


Figura 7. Valores de importancia de las especies registradas en Marismas Nacionales, Nayarit, México.

Región Pacífico Centro (Jalisco, Colima y Michoacán)

La mayor parte del trabajo de campo correspondiente a la región Pacífico Centro se realizó en el estado de Jalisco y sólo uno de los diez transectos se ubicó en la región colindante con el estado de Colima. Dentro de la fisiografía de Jalisco se encuentra la Sierra Madre Occidental, la Mesa del Centro, el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur. En su territorio se encuentran las regiones hidrológicas de Lerma-Santiago, Huicicila, Ameca, Costa de Jalisco, Armería-

Coahuayana, Balsas y El Salado (<http://www.inegi.gob.mx>). La distribución del trabajo de campo se encuentra en los municipios de Cihuatlán, La Huerta y Tomatlán. El área colindante con el estado de Jalisco y Colima se ubica en el municipio de Manzanillo.

A continuación se presenta la descripción con mayor detalle de algunos de los sitios de trabajo, de los cuales existe información disponible en el Centro de Documentación “Ecosistemas Litorales Mexicanos”

“Laguna de Agua Dulce: Se localiza entre los 22° 40' y 22° 44' de latitud norte y los 105° 40' y 105° 44' de longitud oeste. Se comunica al Océano Pacífico por medio del estero Bococas y desemboca en la Barra de Teacapán, tiene una extensión de 700 ha. Se trata de un sistema posiblemente de plataforma de barrera interna. Presenta depresiones inundadas en los márgenes internos del borde continental, al que rodean superficies terrígenas en sus márgenes internos y al que protegen del mar barreras arenosas producidas por corrientes y olas. La antigüedad de la formación de la barrera data del establecimiento del nivel del agua actual, dentro de los últimos 5 mil años. Los ejes de orientación son paralelos a la costa. Batimétricamente estos sistemas son típicamente muy someros, excepto en los canales erosionados, modificados principalmente por procesos litorales como actividad de huracanes o vientos; se localiza sedimentación terrígena.

Laguna de Barra de Navidad: Se localiza entre los 19° 10' y 19° 12' de latitud norte y los 104° 39' y 104° 41' de longitud oeste. La profundidad oscila entre 1 y 3 m. Se comunica permanentemente con el mar por medio de una boca de aproximadamente 80 m de ancho. Tiene una extensión de 3,600 ha. Se trata de un sistema de plataforma de barrera interna, Presenta depresiones inundadas en los márgenes internos del borde continental, al que rodean superficies terrígenas en sus márgenes internos y al que protegen del mar barreras arenosas producidas por corrientes y olas. La antigüedad de la formación de la barrera data del establecimiento del nivel del agua actual, dentro de los últimos 5 mil años. Los ejes de orientación son paralelos a la costa. Batimétricamente es un sistema típicamente muy somero, excepto en los canales erosionados, modificados principalmente por procesos litorales como actividad de huracanes o vientos; se localiza sedimentación terrígena.”

En Jalisco los sitios de trabajo fueron Barra de Navidad, La Manzanilla, Tenacatita, Chalacatepec, Agua Dulce y Boca de Iguanas y en Colima La Culebra, el trabajo se desarrolló entre el 13 y el 19 de mayo del 2007. Se realizaron un total de 10 transectos, en los que se registró un total de 392 árboles correspondientes a *Avicennia germinans*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*. La altura promedio fue de 6.1 ± 2.3 m, con una densidad de 1281 árboles por hectárea, un área basal promedio de 17.23 m^2 por hectárea, el

diámetro fue de 10.4 ± 6.8 cm. El mayor valor de importancia lo obtuvo *L. racemosa*, por su alto valor de dominancia, seguida de *R. mangle*, *A. germinans* y *C. erectus*. La estructura de la vegetación se muestra en las Figuras 9 y 10. El reporte generado por el programa P-DATA PRO con los descriptores de la estructura forestal (área basal, densidad, dominancia, frecuencia y valor de importancia) de cada especie de manglar se presenta en el Anexo 6 y Anexo 6a.

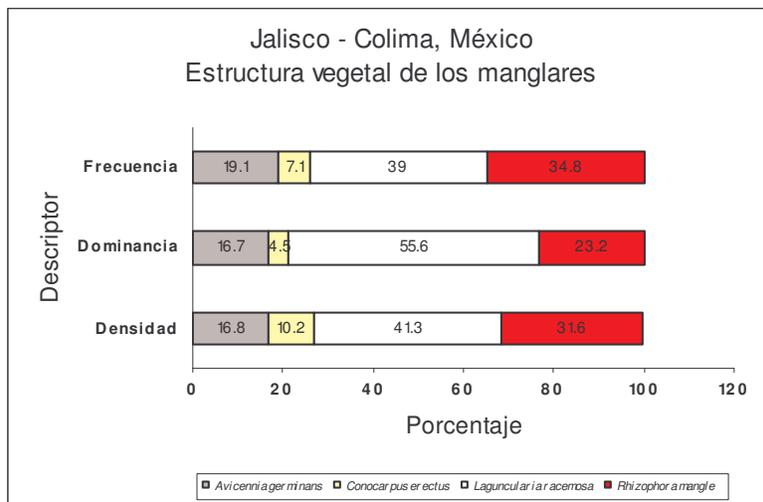


Figura 9. Densidad, dominancia y frecuencia de las especies registradas en la Región Pacífico Centro (Jalisco-Colima, México).

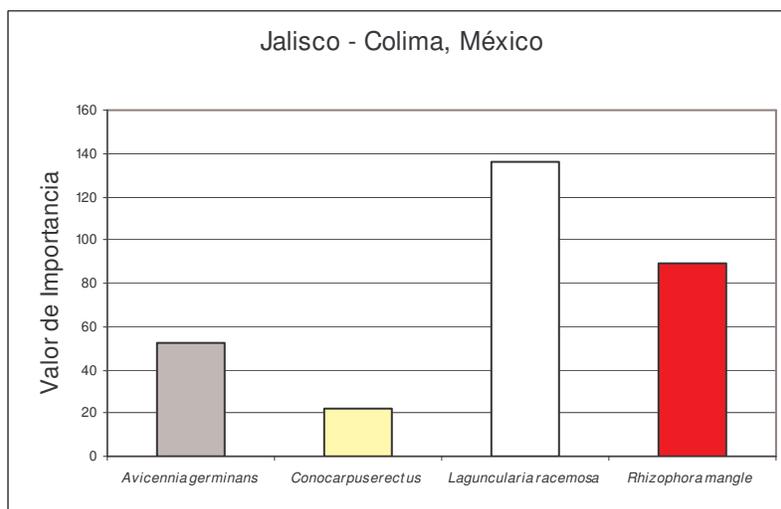


Figura 10. Valores de importancia de las especies registradas en la Región Pacífico Centro (Jalisco-Colima, México).

Por la orografía local, los manglares en la región tienen extensiones muy pequeñas, sólo bordeando con una estrecha franja algunos cuerpos lagunares. Un ejemplo de esto es el Tecuán, sistema en el que en una franja de 4-5 metros que bordea la laguna, están representadas las cuatro especies de manglar, lo cual da al sitio una importancia ecológica relevante. Otro ejemplo Agua Dulce, en donde existen franjas de manglar monoespecífico de *L. racemosa* de menos de 50 m de ancho con un elevado número de aves de diferentes especies, lo que indica que estos sistemas representan un hábitat importante para una gran diversidad de fauna, lo cual está siendo documentado, entre otras instituciones, por el Departamento de Estudios para el Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras de la Universidad de Guadalajara.

Región Pacífico Sur (Guerrero, Oaxaca y Chiapas)

El sitio de trabajo correspondiente a la Región Pacífico Sur se realizó en el Parque Nacional Lagunas de Chacahua en el estado de Oaxaca, el cual, según el Centro de Documentación "Ecosistemas Litorales Mexicanos", "Forma parte del sistema lagunar Chacahua-Pastoría, que se localiza entre los 15° 58' y 16° 00' de latitud norte y los meridianos 97° 32' y 97° 37' de longitud oeste. Ambas lagunas están limitadas al sur por el Océano Pacífico y al norte por las poblaciones de Charco Redondo, Tlacoache, La Vega y Lagartero. La laguna de Chacahua tiene una extensión de 1,100 ha. Se trata de un sistema de plataforma *de barrera interna*. Presenta depresiones inundadas en los márgenes internos del borde continental, al que rodean superficies terrígenas en sus márgenes internos y al que protegen del mar barreras arenosas producidas por corrientes y olas. La antigüedad de la formación de la barrera data del establecimiento del nivel del agua actual, dentro de los últimos 5 mil años. Los ejes de orientación son paralelos a la costa. Batimétricamente estos sistemas son típicamente muy someros, excepto en los canales erosionados, modificados principalmente por procesos litorales como actividad de huracanes o vientos; se localiza sedimentación terrígena.

El trabajo de campo correspondiente a esta región se realizó del 21 al 26 de mayo de 2007. Se realizó un total de 10 transectos, en los que se registraron un total de 400 árboles correspondientes a cinco especies: *Avicennia germinans*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle* y *Acacia sp.* La altura fue de 7.5 ± 2.9 m, con una densidad de 1140 árboles por hectárea, un área basal de 17.34 m^2 por hectárea, y un diámetro fue de 10.6 ± 9 cm. La especie con mayor valor de importancia fue *R. mangle*, por su alto valor de dominancia, seguida de *L. racemosa*, *A. germinans* y *C. erectus*. La estructura de la vegetación se muestra en las Figuras 11 y 12. El reporte generado por el programa P-DATA PRO con los

descriptores de la estructura forestal (área basal, densidad, dominancia, frecuencia y valor de importancia) de cada especie de manglar se presenta en el Anexo 7 y Anexo 7a.

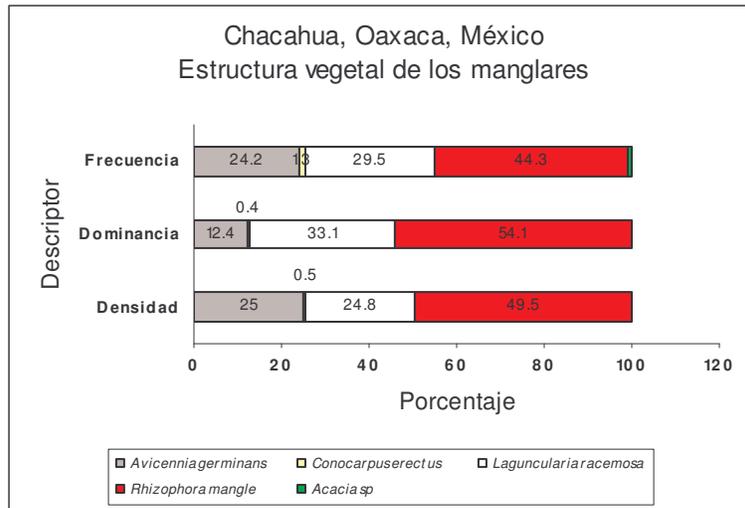


Figura 11. Densidad, dominancia y frecuencia de las especies registradas en Chacahua, Oaxaca, México.

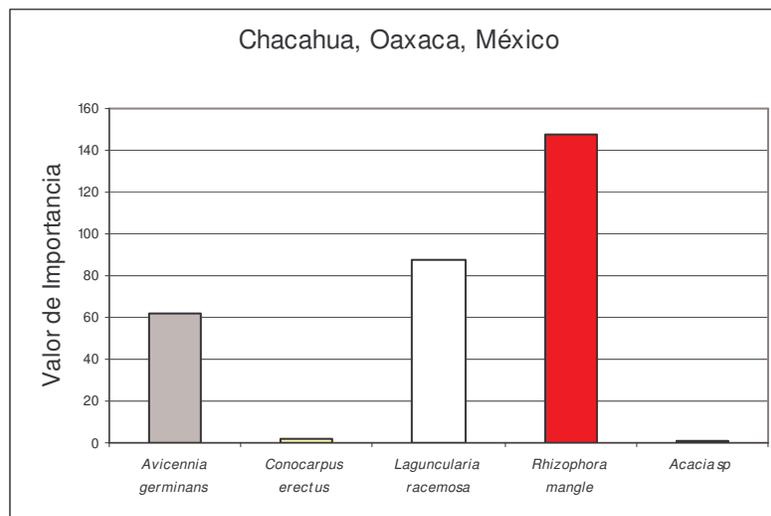


Figura 12. Valores de importancia de las especies registradas en Chacahua, Oaxaca, México.

Este sitio fue dominado por *R. mangle*. Esto se debe, en parte, a que la zona se encuentra expuesta a una permanente inundación por lo que en pocos sitios se pueden establecer con éxito las otras especies de manglar. Aunque también existe una zona hacia el

interior de la laguna, localmente conocido como El Salado, donde existe una extensa área de regeneración natural de *A. germinans* con aproximadamente 10 años en este proceso y con árboles de hasta 5 cm de DAP y alturas de hasta 4 m. Este es un dato importante para ser considerado en sitios de manglar que después de un fenómeno meteorológico son devastados. Es necesario considerar que el proceso de regeneración natural está asegurado en el mediano plazo, siempre y cuando se mantengan las condiciones ambientales requeridas para el crecimiento del manglar.

Región Golfo de México (Tamaulipas, Veracruz y Tabasco)

El sitio de trabajo correspondiente a la Región Golfo de México se realizó en el sistema lagunar de Alvarado, en el estado de Veracruz, que se localiza entre los 18° 43' y 18° 52' de latitud norte y los 95° 42' y 95° 57' de longitud oeste. Este sistema está formado por las lagunas de Alvarado, Buen País, Camaronera y Tlalixcoyan, principalmente, aunque presenta un gran número de otros pequeños cuerpos acuáticos y zonas inundables. El sistema lagunar está asociado con el río Papaloapan, cuya cuenca cubre una extensión aproximada de 39, 189 km² y desemboca finalmente en la Laguna de Alvarado, pasando antes por la Ciudad de Tlacotalpan. Según el Centro de Documentación "Ecosistemas Litorales Mexicanos", "La laguna de Alvarado tiene una extensión de 6,200 ha. Es un sistema de erosión diferencial, que presenta depresiones formadas por procesos no marinos durante el descenso del nivel del mar. Inundadas por la transgresión del Holoceno. Modificadas leve o fuertemente a partir de la estabilización del nivel del mar durante los últimos 5 mil años. La batimetría y la forma de estos sistemas son variables; la geomorfología es típicamente de un valle de río inundado; se presentan principalmente a lo largo de planicies costeras anchas y de bajo relieve; los cañones escarpados y rocosos se forman en relieves costeros altos; hay depresiones cársticas ovales e irregulares."

El trabajo de campo se realizó del 15 al 19 de octubre del 2006. Se realizaron un total de 10 transectos, en los que se registró un total de 396 árboles correspondientes a seis especies: *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, un bejuco, *Lonchocarpus luteomaculatus* y *Pachira aquatica*. La altura fue de 10.1±4 m, con una densidad de 591 árboles por hectárea, un área basal de 22.80 m² por hectárea, el diámetro fue de 17.9±13 cm. De las especies de manglar el mayor valor de importancia lo obtuvo *A. germinans*, principalmente como resultado de su alto valor de dominancia, seguida de *L. racemosa* y *R. mangle* respectivamente. La estructura de la vegetación se muestra en las Figuras 13 y 14. El reporte generado por el programa P-DATA PRO con los descriptores de la estructura forestal (área

basal, densidad, dominancia, frecuencia y valor de importancia) de cada especie de manglar se presenta en el Anexo 8 y Anexo 8a.

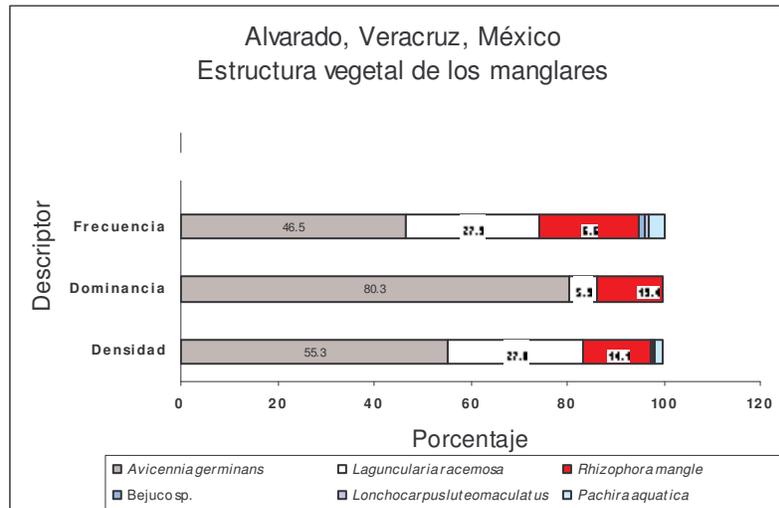


Figura 13. Densidad, dominancia y frecuencia de las especies registradas en Alvarado, Veracruz, México.

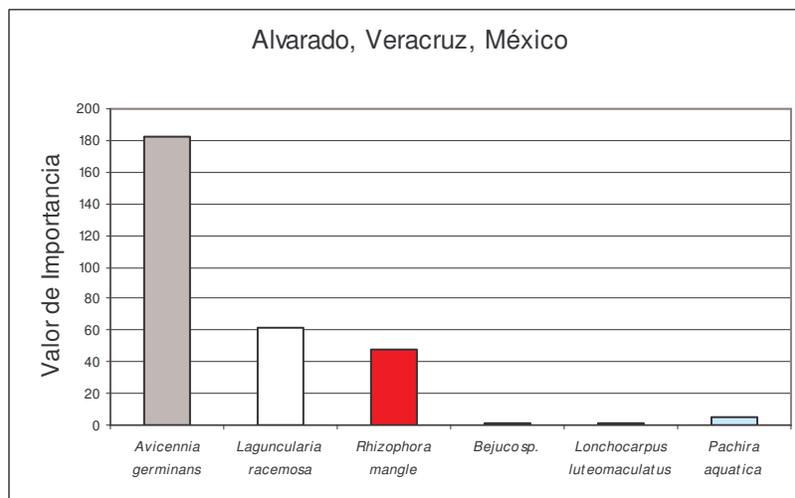


Figura 14. Valores de importancia de las especies registradas en Alvarado, Veracruz, México.

Este sitio fue el que presentó la menor densidad de árboles, pero con mayor DAP. Esta característica estructural está determinada principalmente por aproximadamente el 50% los individuos con un DAP > 20 cm. De manera particular fue *A. germinans* la que participó con la

mayor cantidad de área basal, por lo que fue la especie con mayor valor de importancia (Fig. 14).

Región Península de Yucatán (Campeche, Yucatán y Quintana Roo)

El sitio de trabajo se ubicó en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Quintana Roo. Este reserva se encuentra en la porción central costera del Estado, en los municipios de Solidaridad y Felipe Carrillo Puerto. Según el Centro de Documentación "Ecosistemas Litorales Mexicanos", "Se encuentra en la franja más joven de la Península de Yucatán; al parecer sus terrenos emergieron del fondo del mar hace menos de dos millones de años y parecen seguir emergiendo. El área es plana, con menos de 30 msnm. En esta área de encuentra la Bahía Ascensión y la Bahía del Espíritu Santo. Son sistemas que presentan depresiones formadas por procesos no marinos durante el descenso del nivel del mar, inundadas durante la transgresión del Holoceno. Modificadas leve o fuertemente a partir de la estabilización del nivel del mar durante los últimos 5 mil años. La batimetría y la forma son variables; la geomorfología es típicamente de un valle de río inundado; se presentan principalmente a lo largo de planicies costeras anchas y de bajo relieve; los cañones escarpados y rocosos se forman en relieves costeros altos; hay depresiones cársticas ovals e irregulares"

El trabajo de campo se realizó del 2 al 9 de mayo de 2007. Se realizaron un total de 10 transectos, en los que se registró un total de 396 árboles correspondientes a once especies: *Avicennia germinans*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, *Casuarina equisetifolia*, *Chrysophyllum mexicanum*, *Cocus nucifera*, *Haematoxylum campechianum*, *Metopium brownei*, *Pithecellobium dulce* y *Thrinax radiata*. La altura fue de 5.4 ± 3.2 m, con una densidad de 672 árboles por hectárea, un área basal de 8.37 m^2 por hectárea y un el diámetro de 10.1 ± 6.2 cm. De las especies de manglar el mayor valor de importancia lo obtuvo *A. germinans*, principalmente debido a u alto valor de densidad, seguida de *R. mangle*, *L. racemosa* y *C. erectus*. La estructura vegetal de los manglares de este sitio obtenida a partir del trabajo de campo de muestra en las Figuras 15 y 16. El reporte generado por el programa P-DATA PRO con los descriptores de la estructura forestal (área basal, densidad, dominancia, frecuencia y valor de importancia) de cada especie de manglar se presentan en el Anexo 9 y Anexo 9a.

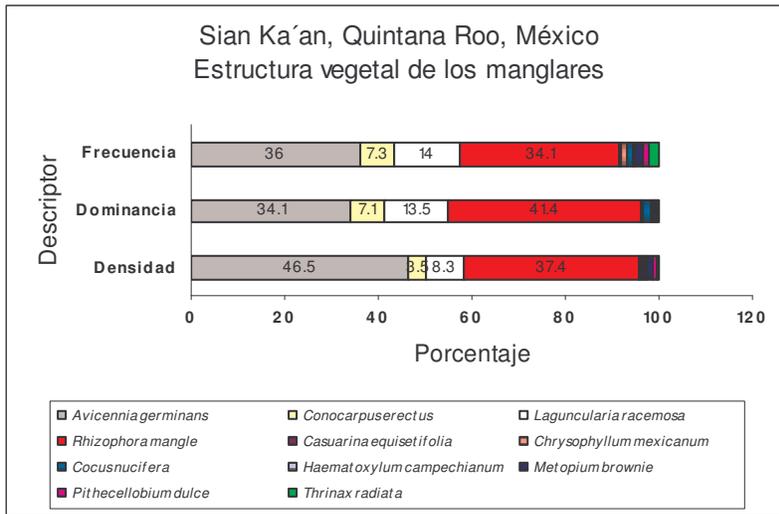


Figura 15. Densidad, dominancia y frecuencia de las especies registradas en Sian Ka'an, Quintana Roo, México.

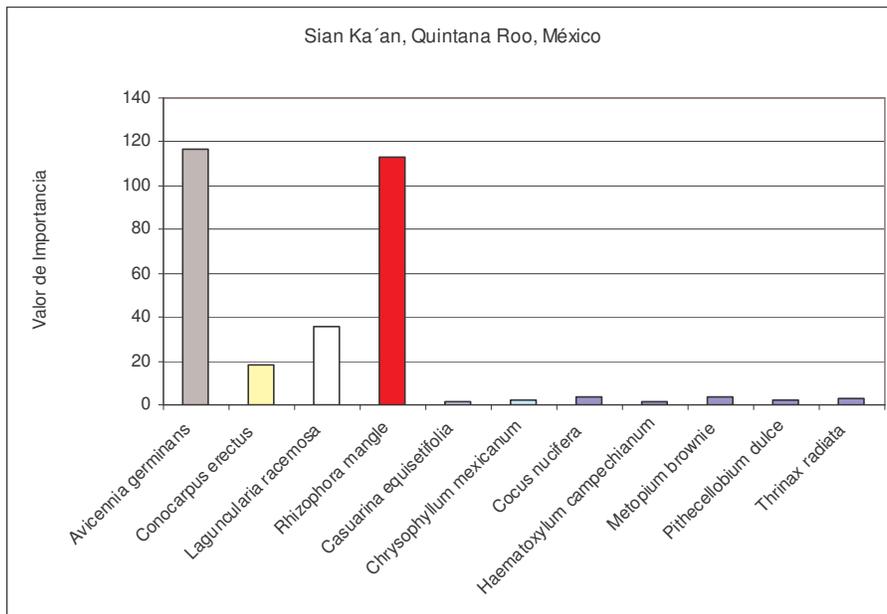


Figura 16. Valores de importancia de las especies registradas en Sian Ka'an, Quintana Roo, México.

El sitio muestra características particulares de conservación por su ubicación en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. Estructuralmente, este sitio tiene particularidades, como son los diferentes morfotipos que se presentan, por ejemplo, en algunas áreas de la Reserva (el Playón) se desarrollan manglares enanos de *R. mangle*, que también se observaron cercanos a

la reserva en la entrada por Pulticub. En Sian Ka'an, se registró el mayor número de especies asociadas al manglar, una de ellas *Casuarina equisetifolia*, una especie introducida de difícil erradicación, para la cual ya se cuenta con un programa de control en la Reserva. En la Reserva se observaron algunos sitios de manglar muerto, pero no se conoce el motivo, por lo que se recomienda realizar estudios para encontrar una solución apropiada para la región en el corto plazo.

Por otra parte, como resultado de la visita realizada a los manglares de la Isla de Cozumel, se apreciaron extensas áreas de manglar devastadas durante el paso del huracán Wilma en el 2005, si bien a nivel general aparentemente se observan sólo árboles muertos hay un proceso de regeneración natural. Es recomendable establecer programas de monitoreo del proceso de regeneración y asegurar la integridad de los sitios dañados en este momento, a fin de evitar el cambio de uso de suelo (que se observó en algunos sitios) tomando en cuenta que el tiempo para la recuperación de manglares depende del grado de afectación del sistema y puede requerir al menos dos años.

III. Identificación de relaciones entre variables biológicas y grupos espectrales.

Se reconocieron 4 tipos de firmas espectrales características de la cobertura de manglar, con algunas variantes. Particularmente se analizaron los valores del espectro correspondientes al rojo (banda 2 en SPOT, ver Tabla 3), que es absorbido por la clorofila mientras que la estructura de la pared celular es reflejada en el infrarrojo cercano (banda 3) y la humedad, que es útil en casos de suelos con alto contenido de agua, se absorbe en el infrarrojo medio (banda 4).

Por lo anterior, se asignó el Tipo 1 a la vegetación que obtuvo el menor valor en el canal rojo y el valor más elevado en el IR cercano (Figura 7). Ambas condiciones corresponden a vegetación con una fuerte concentración de clorofila y elevada densidad. Siguiendo ese criterio, el Tipo 4 representa a la vegetación más dispersa, de estructura vegetal más débil y asociada a suelos secos o con menor grado de humedad. Esta asociación solo se hizo para la región del Pacífico Norte, ya que fue en esta región donde se recopiló el mayor registro de trabajo de campo con estructura forestal (Base de datos CIAD-Mazatlán).

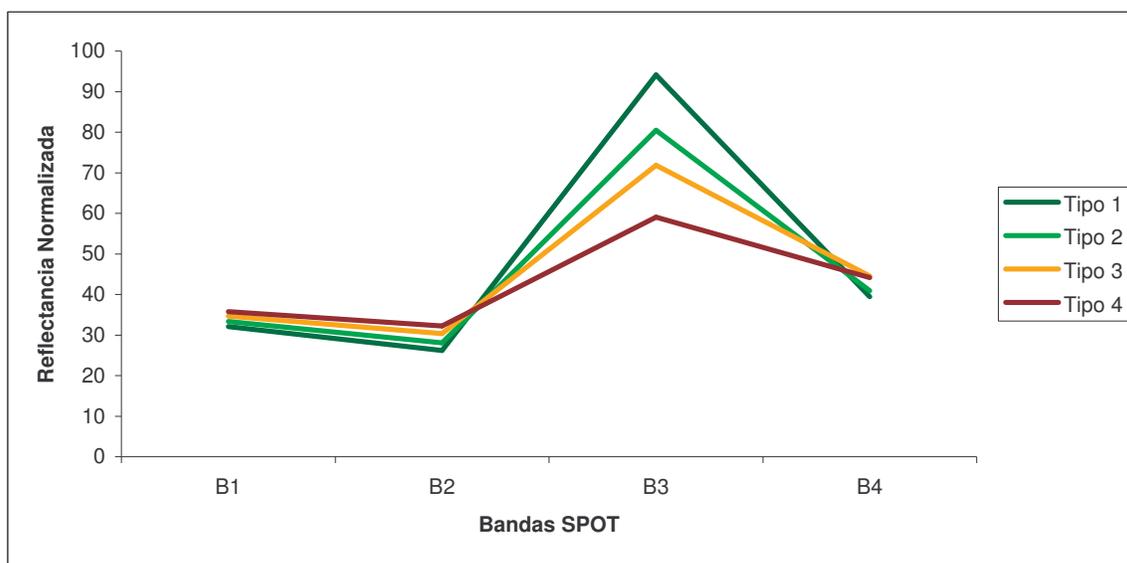
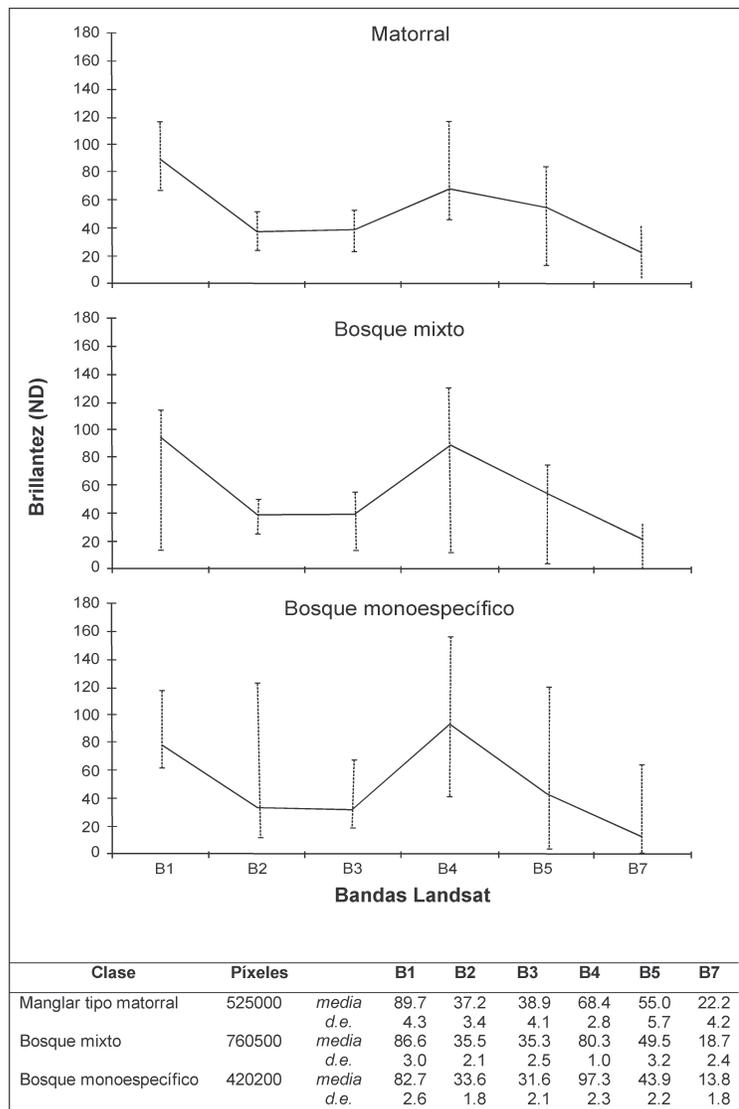


Figura 17. Distribución de los valores de reflectancia generados por cuatro tipos de manglar registrados en una imagen SPOT 5.

Por otro lado, Acosta-Velázquez y Ruíz-Luna (en prensa, 2007) describen el comportamiento de 3 tipos de manglares en Baja California Sur, manglar tipo bosque mixto, manglar tipo bosque monoespecífico y manglar tipo matorral (Fig. 18). Los mismo autores hicieron un análisis de las firmas espectrales en el noroeste de México, el cual sirvió de base para la interpretación de las firmas espectrales del presente trabajo. Tomando en cuenta las equivalencias de las bandas de SPOT con Landsat (Tablas 3 y 4), se pueden hacer algunas asociaciones. En el caso específico de Bahía Magdalena, BCS, los manglares de tipo bosque incluyen a *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa* siendo dominante ésta última, con densidades de 2339 a 5922 fustes/ha y área basal de 20.6 a 58.5 m²/ha. El manglar tipo matorral incluye además a *Avicenia germinans* y densidades de hasta 30,000 individuos/ha (Acosta-Velázquez y Ruíz Luna, 2007).

Tabla 7. Espectro electromagnético asociado al sensor ETM del satélite Landsat-7.

Espectro EM del ETM	Tamaño del píxel [m]	Rango espectral [nm]
Banda 1: Azul	30	450 – 515
Banda 2: Verde	30	525 – 605
Banda 3: Rojo	30	630 - 690
Banda 4: Infrarrojo cercano	30	775 - 900
Banda 5: Infrarrojo medio	30	1550 - 1750
Banda 6: Infrarrojo térmico / lejano	60	10400 – 12500
Banda 7: Infrarrojo medio	30	2090 - 2350



Baja California Sur, México. NOTA: Se representa con líneas y símbolos los valores promedio y extremos de brillantez (DN), mientras que en el cuadro adjunto se observan los valores promedio y desviación estándar (entre paréntesis), además del número de píxeles (n) que componen la muestra. (Acosta-Velázquez y Ruíz Luna, 2007).

IV. Diseño del SIG

Los resultados del diseño del SIG, se presentan como la integración del servidor de aplicaciones con la página Web con el siguiente diseño de página (fig. 19):

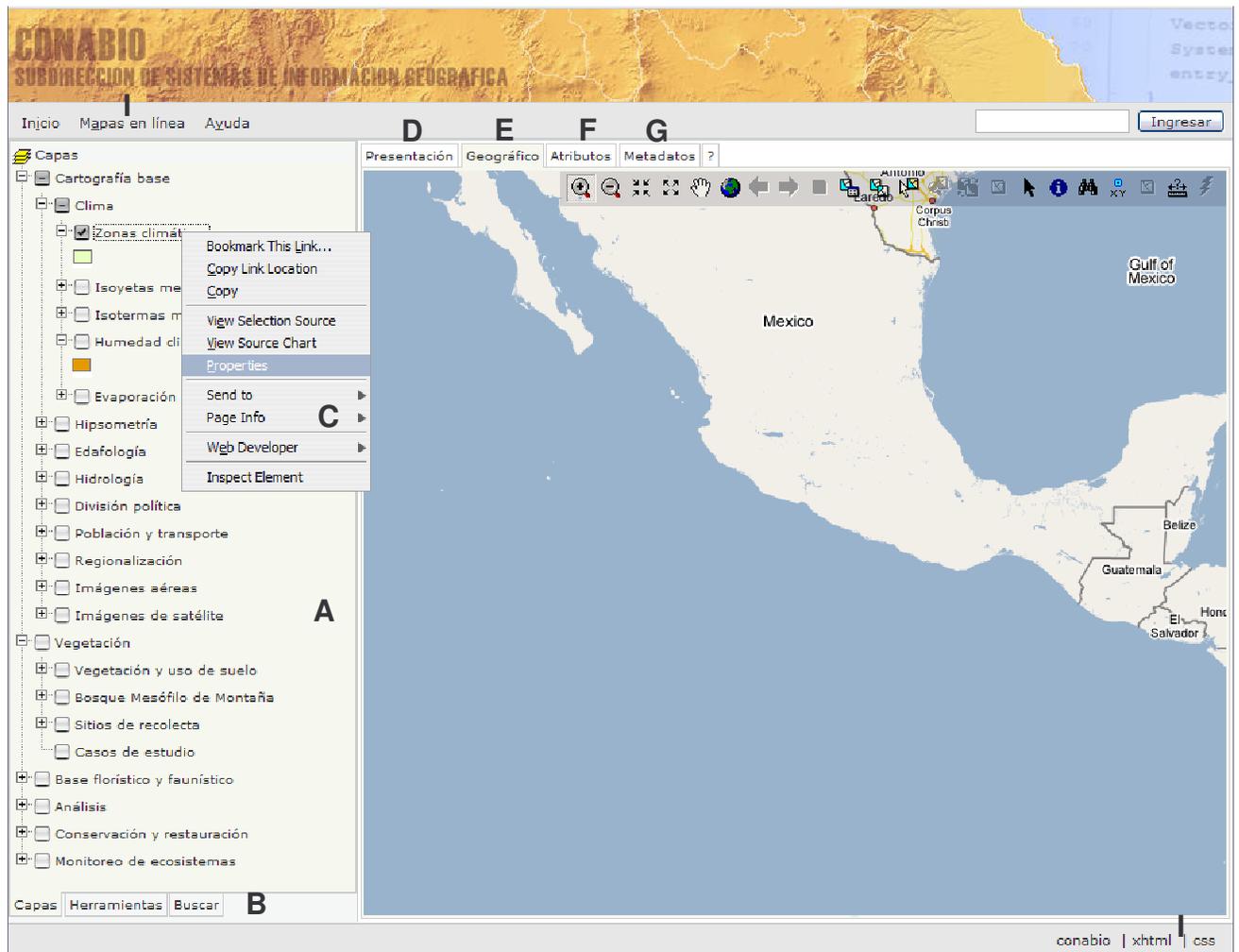


Figura 19. Esquema preliminar de la página Web.

Las funciones de la página serán accesibles a través de las siguientes secciones en la página principal de la aplicación:

A. Panel de exploración de capas:

La disposición de las capas de acuerdo a la clasificación general y las que están asociadas a proyectos específicos, se realizará de acuerdo con la asignación de un ámbito temático y palabras clave en los metadatos. Los temas y el conjunto de palabras clave estará definido en un vocabulario específico.

B. Panel de búsqueda:

Se presentarán dos opciones para realizar búsquedas:

- Por metadatos (palabra clave, tema, año, etc.)
- Por atributos (campos en las capas)

C. Opciones específicas de capa:

Las herramientas o comandos específicos para las capas (descarga de cartografía o imágenes de satélite, *zoom* a la extensión de la capa, descarga de metadatos, y en general aquellas que se puedan definir a este nivel) estarán disponibles en menús contextuales.

D. Panel de presentación:

En esta sección se pueden incluir textos de introducción, información general, restricciones legales y condiciones de uso, etc.

E. Panel de visualización y herramientas de navegación:

En esta sección se muestra un mapa interactivo junto con herramientas específicas que solo deberían mostrarse en el contexto del propio mapa (*zoom* dinámico, medición, escala, etc.)

F. Panel para el examen de la tabla de atributos:

En esta sección se podrá ver la tabla de atributos de las capas, junto con herramientas comunes que solo tienen sentido en este contexto (ordenación, búsqueda por campo, etc.). Cuando existan restricciones de acceso, puede mostrarse un mensaje, o bien inhabilitar el panel.

G. Panel para examinar documentos de metadatos:

En esta sección se podrá acceder a la documentación detallada de la cartografía, imágenes, proyectos y mapas.

H. Panel de ayuda:

En esta sección se pueden incluir temas auxiliares, recomendaciones de uso, requerimientos de software y hardware, etc., o bien, vínculos a servicios secundarios (solicitudes de registro, envío de comentarios, sitios Web recomendados, etc.)

I. Ligas especiales:

En estas secciones se incluirían solo los vínculos más importantes, o significativos.

El diseño (del aspecto 'visual') de la página estará orientado a mostrar una interfaz de usuario limpia y simple; solo mostrar las herramientas y opciones más generales, todo lo demás (herramientas, comandos o utilidades específicas, etc.) estarían disponible en menús contextuales o en pestañas; y aprovechar toda el área posible de la ventana del navegador para el mapa, la tabla o los metadatos.

De forma particular, la sección correspondiente a este proyecto contendrá los siguientes temas en la Sección A:

1. INFORMACIÓN BASE:

- a. Cartas digitales topográficas del INEGI, escala 1:50,000, en formato de MrSID¹. Con restricción de distribución.
- b. División política estatal, escala 1:250,000². Resaltando solo los estados costeros³.
- c. División política municipal, escala 1:250,000². Resaltando solo los municipios costeros³.
- d. Asentamientos humanos, último censo de población (2005)^{2, 3}.
- e. Imágenes de satélite, en formato de MrSID¹.
- f. Límites del país, escala 1:250,000^{2, 3}.
- g. Zonificación del manglar, escala 1:250,000².

2. VEGETACIÓN:

- a. Uso de suelo y vegetación, escala 1:250,000, serie I del INEGI^{2, 3}. Con restricción de distribución.
- b. Uso de suelo y vegetación, escala 1:250,000, serie II del INEGI^{2, 3}. Con restricción de distribución.
- c. Uso de suelo y vegetación, escala 1:250,000, serie III del INEGI^{2, 3}. Con restricción de distribución.
- d. Uso de suelo y vegetación del Inventario Nacional Forestal 2000-2001, escala 1:250,000^{2, 3}. Con restricción de distribución.

3. HIDROLOGÍA:

- a. Cuencas hidrológicas de México (2007), escala 1:250,000^{2, 3}.

¹ La información compactada en formato MrSID corresponderá a la información de tipo matricial (raster), como las imágenes de satélite, fotografías aéreas e imágenes GeoTiff.

² Esta información temática será parte del acervo general de la CONABIO, por lo que al ser consultada por el usuario, el cliente Web buscará la información en el acervo y la desplegará en la página. Con esto se evitará la duplicidad de información común.

³ El formato de la mayoría de estas capas será de tipo vectorial (shapefile).

- b. Ríos de México, escala 1:250,000^{2, 3}.
 - c. Cuerpos de agua, escala 1:250,000^{2, 3}.
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS:
- a. Estudios de caso. Por ejemplo, datos proporcionados por el Dr. Cristian Tovilla. En estos casos la escala de la información será variable, pero los parámetros cartográficos serán los mismos que la del resto de la información.
 - b. Polígonos de los manglares de México, escala 1:50,000².
 - c. Sitios de verificación y muestreo, escala 1:1².
 - d. Fragmentación del paisaje, escalas 1:250,000 y 1:50,000².
5. MONITOREO.
- a. Las capas geográficas digitales se irán incorporando conforme se vayan generando.
6. DIVERSIDAD BIOLÓGICA.
- a. Mismo caso que el tema anterior.

Toda la información será georreferenciada usando un sistema de coordenadas geográficas, con Datum y Esferoide WGS84.

Con este diseño, a través de una página Web, se logrará el acceso a la información de una manera fácil, para que los usuarios, visualicen la información geográfica, tabular y de metadatos, con la posibilidad de bajar la información libre a su sistema local. De esta manera, se cumple con la conclusión alcanzada en el Taller de consulta para el programa de monitoreo de los manglares de México⁴ que dice “El SIG propuesto, en la primera etapa, estará diseñado como un sistema de intercambio de información entre instituciones e investigadores, la cual estará integrada en un visualizador de los datos geográficos y estará en línea”. Además de que la información podrá ser vista y consultada por el público en general, sin que esto signifique pérdida de control de acceso, diseminación de información restringida u obtención de datos restringidos.

También, mediante la sección J (descrita anteriormente), se logrará el manejo de los permisos de acceso a la información con y sin restricciones, con capacidad para diferentes

¹ La información compactada en formato MrSID corresponderá a la información de tipo matricial (raster), como las imágenes de satélite, fotografías aéreas e imágenes GeoTiff.

² Esta información temática será parte del acervo general de la CONABIO, por lo que al ser consultada por el usuario, el cliente Web buscará la información en el acervo y la desplegará en la página. Con esto se evitará la duplicidad de información común.

³ El formato de la mayoría de las capas será de tipo vectorial (shapefile).

⁴ <http://www.conabio.gob.mx/institucion/redes/doctos/taller.pdf>

niveles de acceso y uso de la información, identificando a los usuarios con permisos de visualización, consulta y descarga, de otros usuarios con permisos restringidos.

Habrà ligas a páginas o documentos importantes o de interés, como el directorio de especialistas o la base de referencias bibliográficas, a través de la Sección I.

En el caso particular del tema *Estudios de caso*, se cuenta actualmente con la información proporcionada por el Dr. Cristian Tovilla, investigador especialista en manglares de ECOSUR - Unidad Tapachula, la cual se incorporará al acervo geográfico en una sección especial, para que el sistema identifique la información y la despliegue en la página Web. Para ejemplificar este caso, en la Figura 20 se muestran los datos enviados por el Dr. Tovilla, de los manglares asociados al sistema lagunar Carretas-Pereyra, de la costa de Chiapas.

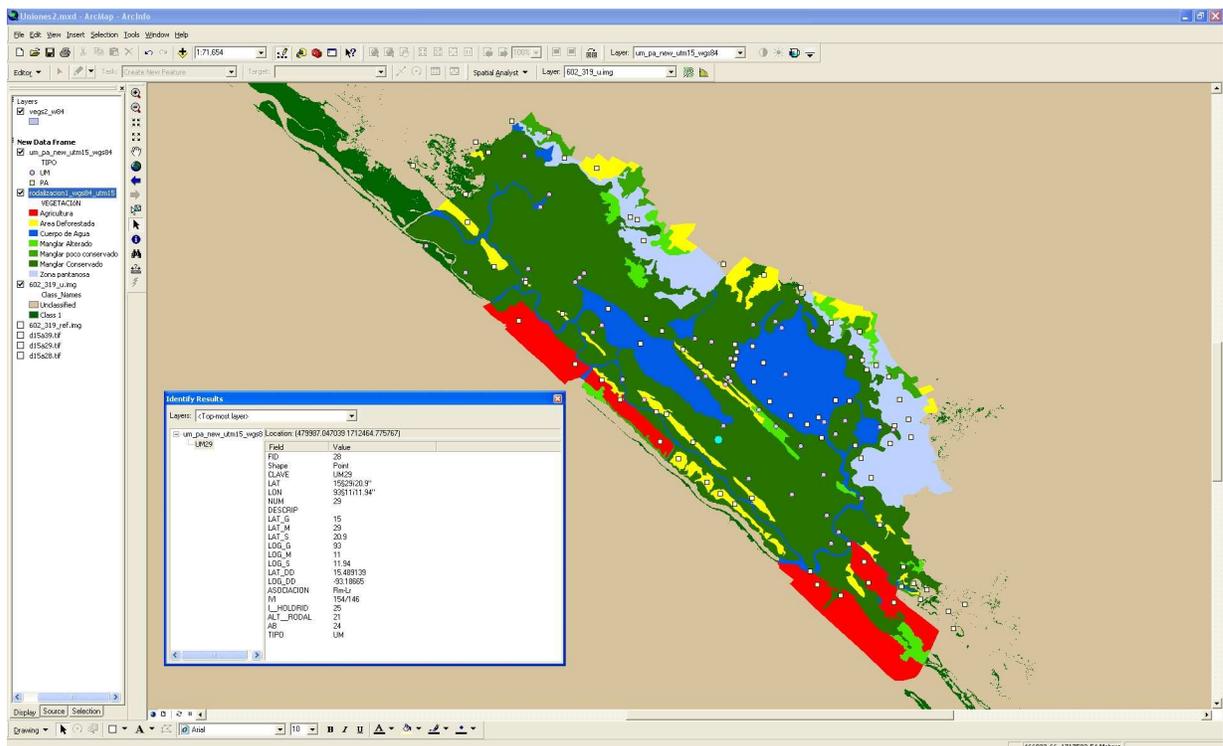


Figura 20. Ejemplo del tipo de información que se manejará en el tema Estudios de caso. En éste se muestra la información del ECOSUR proporcionada por el Dr. Cristian Tovilla.

Discusión

Delimitar manglares no es tarea fácil, dado que su respuesta espectral varía en función de diversos parámetros como son las asociaciones entre especies, su densidad, la altura (arbustivos o arbóreos), la presencia de parches de otros tipos de vegetación, la humedad y el tipo de suelo, las condiciones climáticas a la hora de la toma de la imagen, la latitud, las condiciones radiométricas de la imagen junto con la efectividad del proceso de rectificación radiométrica para corregir errores del sensor, la presencia de nubes que generan además sombras que modifican los valores radiométricos, y la existencia de una pleamar o bajamar a la hora de la toma de la imagen de satélite, entre otros factores. De igual manera, la respuesta espectral de los manglares puede ser similar a la de otros tipos de vegetación como son cultivos y bosques. También cabe destacar que la forma del manglar es diversa, por lo que no se podría tener un patrón geométrico euclidiano único.

A pesar de lo anterior, existen métodos para separar los manglares de otro tipo de vegetación, como los que utilizamos en el presente trabajo. Por una parte el uso de imágenes de satélite de la misma estación (temporada de secas), la utilización de los MDT permiten separar a los manglares de algunos otros tipos de vegetación considerando se distribuyen en zonas costeras planas. Los umbrales en el NDVI, permiten separar el agua y los suelos desnudos, disminuyendo el ruido en las imágenes. Resta el enmascaramiento en pantalla, que el analista realiza cuando conoce la zona de trabajo y cuenta con los suficientes datos auxiliares o asesoría de especialistas locales.

Nuestra principal limitante fue la baja resolución espectral de las imágenes SPOT que impidió una mejor distinción entre los tipos de manglares sin trabajo de campo, además de la resolución temporal de 16 días que no permite contar con una mayor frecuencia de imágenes sobre todo porque la presencia de nubes en la zona costera es elevada en México. Sin embargo, nuestro objetivo fundamental era contar con un mapa a escala 1: 50 000, lo que se logró con la resolución espacial de 10 metros por pixel con la que cuentan las imágenes SPOT.

En lo que respecta a la estimación de la extensión reciente de los manglares de México, en el presente estudio se estimaron 683,881 ha, que es el 4.12% mayor a lo estimado a escala 1:50,000. Al respecto, el INEGI ha generado tres mapas de vegetación y uso del suelo para todo el territorio Mexicano, con escala cartográfica de 1:250 000, los mapas han sido denominados: Uso de suelo y vegetación Serie I, Serie II y Serie III. La Conabio generó el mapa de distribución de los manglares en México, con escala cartográfica 1: 50 000. En la tabla 14 se presentan las cifras correspondientes:

Tabla 14. Estimación de la cobertura de manglares por INEGI y CONABIO

Mapa	Hectáreas
Uso de suelo y vegetación Serie I INEGI	1,044,994
Uso de suelo y vegetación Serie II INEGI	914,067
Uso de suelo y vegetación Serie II INEGI	924,111
Distribución de manglares en México Conabio 2007	655,667

Fuente: Mapas digitales del INEGI, Mapa digital proyecto "Los manglares de México: estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo".

Es posible que las discrepancias de deben a los diferentes materiales y métodos empleados por las instituciones para la generación la cartografía, como se muestra a continuación (Tabla 15).

Tabla 15. Resumen de los métodos utilizados por INEGI y CONABIO

Mapa	Insumo	Escala cartográfica	Fecha de los datos	Fecha de elaboración	Fecha de publicación
Serie I	Fotografía aérea	1: 250 000	1970- 1979	1980 – 1991	
Serie II	Espaciomapas generados con imágenes de satélite Landsat TM con 30 m de resolución espacial	1: 250 000	1993 -1997	1996-1999	2001
Serie III	Espaciomapas generados con imágenes de satélite Landsat TM con 30 metros de resolución espacial	1:250 000	2000 -2002	2003-2004	2005
CONABIO- Proyecto Manglares de México	Imágenes SPOT con 10 metros de resolución	1:50 000	2005 mayoría	2006-2007	2008

Las fotografías aéreas ofrecen mayor detalle espacial, sin embargo el método y la escala cartográfica influyen en la definición de las áreas de manglar. Las imágenes de satélite SPOT ofrecen mayor detalle espacial que las imágenes Landsat, facilitando una mayor definición.

Los métodos utilizados para la generación de los mapas son variados: para la Serie I se utilizó la interpretación de fotografías aéreas y se realizó la verificación de campo con puntos de muestreo distribuidos en todo el país. Para las Series II y III se utilizó el análisis visual de espaciomapas y verificación de campo; los espaciomapas fueron elaborados con imágenes de satélite Landsat TM, en falso color (bandas 4, 3, 2: Infrarrojo, rojo, verde), con una resolución espacial de 30 metros. Los mapas de la Serie II y III corresponden a la actualización de los mapas de la Serie I y Serie II, respectivamente. Los polígonos del primer mapa fueron sobrepuestos en los espaciomapas y con la interpretación visual del cambio de color, tono y

textura en la imagen se modificaron las líneas de las áreas en donde se detectaron cambios en la cubierta de vegetación (INEGI 2002), que luego fueron verificados con trabajo de campo (Figura 21).

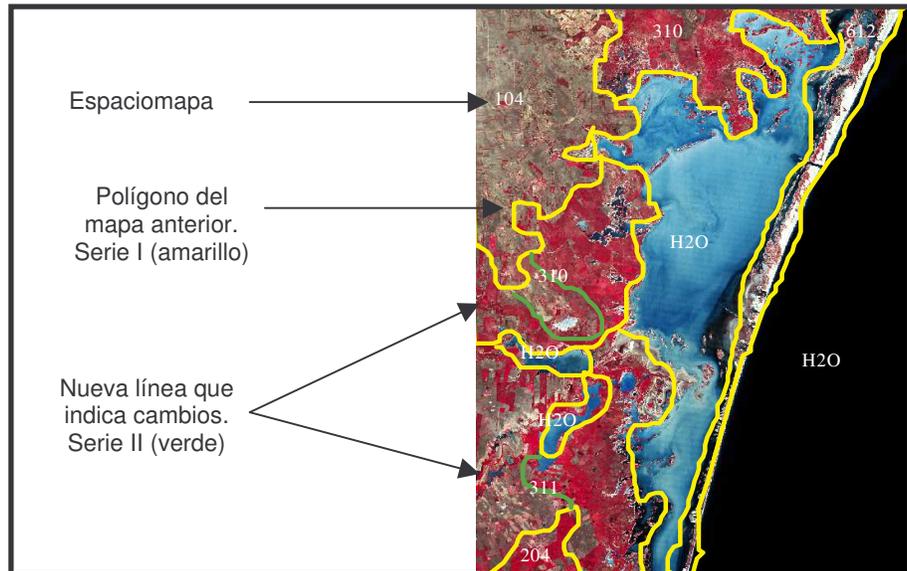


Figura 21. Actualización de la Serie II a partir de la Serie I. Fuente INEGI 2002

Para la identificación del manglar se utilizó el análisis espectral y clasificación digital de las con las cuatro bandas (Infrarrojo medio, Infrarrojo, rojo, verde) de las imágenes de satélite SPOT, con píxeles de 10 m x 10 m. Como apoyo se utilizaron los mapas de INEGI, información bibliográfica y la de sitios de campo visitados (Figura 22).

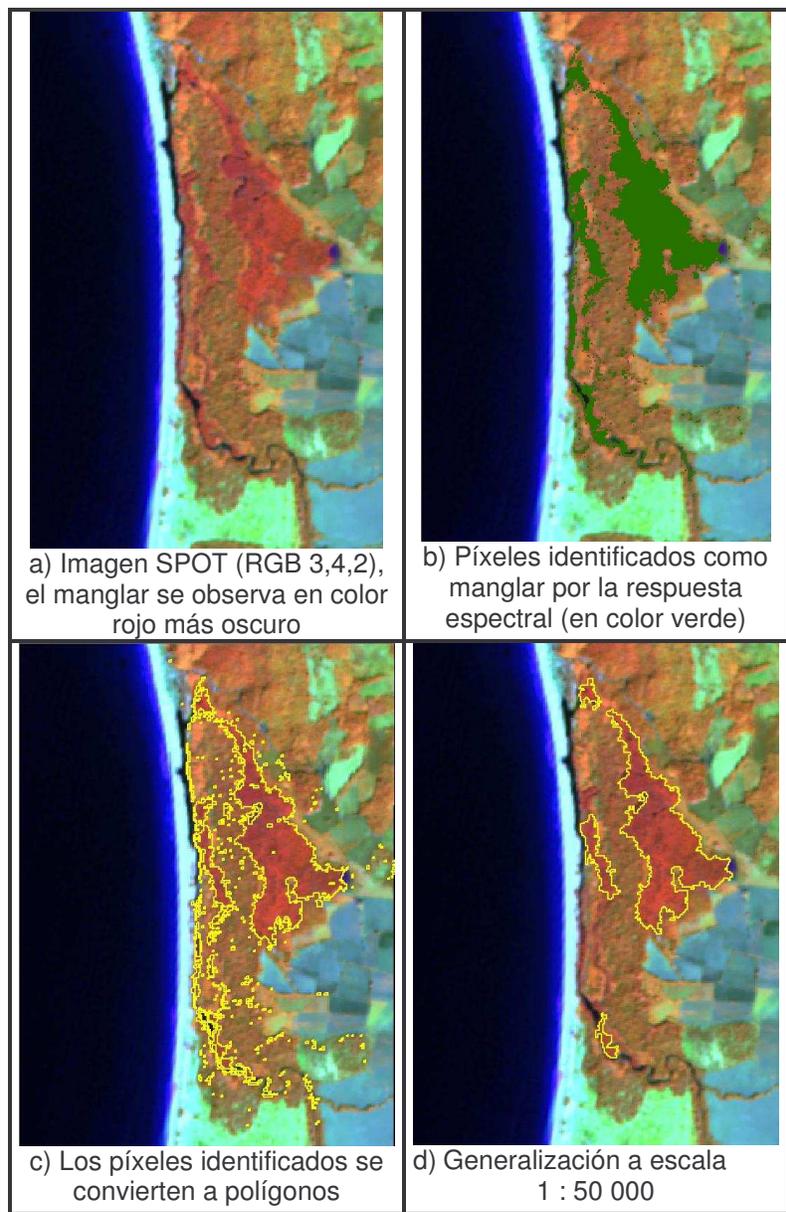


Figura 22. Identificación de manglares por CONABIO.

Un elemento fundamental en la generación de los mapas es la escala cartográfica, que es la relación que existe entre la distancia en el terreno y la representada en el mapa. Existen diversas escalas establecidas, pero cada una representa el mismo espacio con diferente nivel de detalle específico (Figura 23).

La escala cartográfica utilizada por el INEGI en los mapas de uso de suelo y vegetación es 1:250,000, aplicando dos dimensiones como área mínima cartografiable: una para agricultura (25 ha, 2 mm x 2 mm) y otra para vegetación en general (86.25 ha, 3 mm x 3 mm).



Figura 23. Representación de la línea de costa en diferentes escalas. El detalle del contorno se pierde conforme se incrementa el valor absoluto de la escala (cortesía de M Reyes).

Las áreas con dimensiones menores a las establecidas fueron eliminadas e integradas en otras clases. La Conabio presenta el mapa de manglar a escala 1:50,000 con área mínima cartografiable de 1 hectárea (2 mm x 2 mm), porque la resolución espacial de las imágenes SPOT (10 m x 10 m) ofrece la información requerida para obtener ese nivel de detalle (Figura 24)

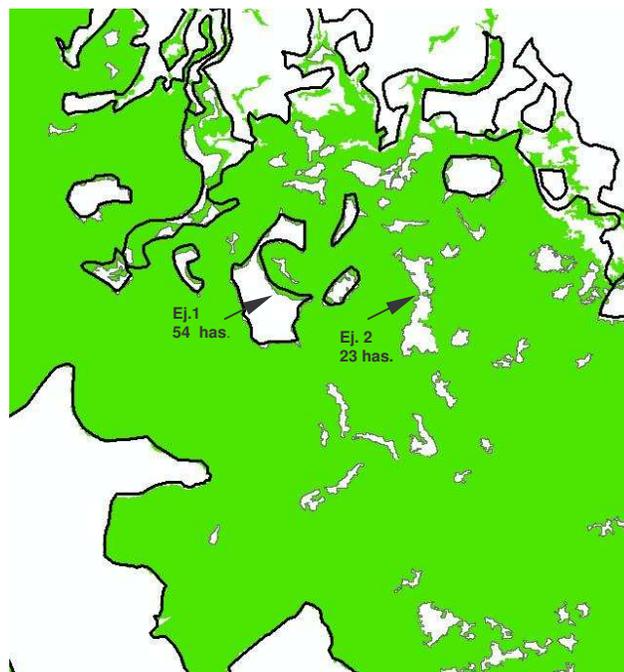


Figura 24. comparación de polígonos de mapas a escala diferente

En la Fig. 24, el ejemplo 1 corresponde a un cuerpo de agua con una dimensión de 54 hectáreas, un polígono que se mantiene en el mapa escala 1: 250,000, por ser mayor a las 25 hectáreas establecidas como área mínima cartografiable. Por el contrario, el un cuerpo de agua de 23 ha mostrado en el ejemplo 2 no podrá ser diferenciado porque el área es menor de 25 ha. Si la escala del mapa es 1:50,000 los dos cuerpos de agua se pueden diferenciar, porque la escala mínima cartografiable es de 1 ha. En la Figura 25 se aprecia la diferencia de escalas.

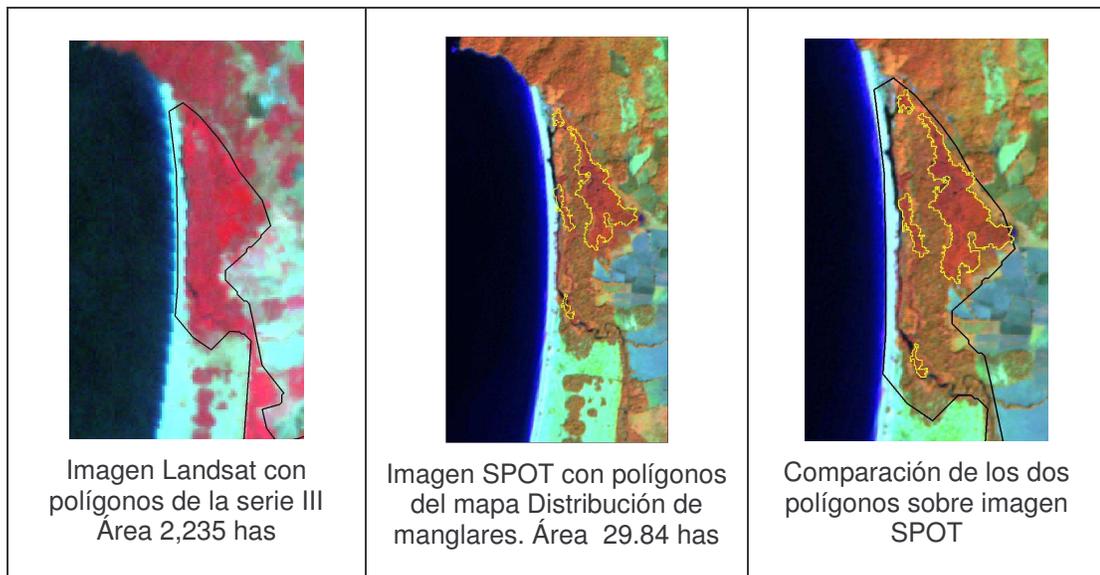


Figura 25. Diferencia entre escalas, INEGI Serie III y CONABIO.

Existen áreas que en los mapas de vegetación y uso del suelo generados por el INEGI son consideradas como manglar, sin embargo la respuesta espectral de las imágenes actuales indican áreas donde el manglar está muerto y es difícil la recuperación (Acosta-Velázquez, 2003), por lo tanto se consideró como zona de no manglar, esto ocurre la zona de Marismas Nacionales, en el estado de Nayarit (Figura 26).

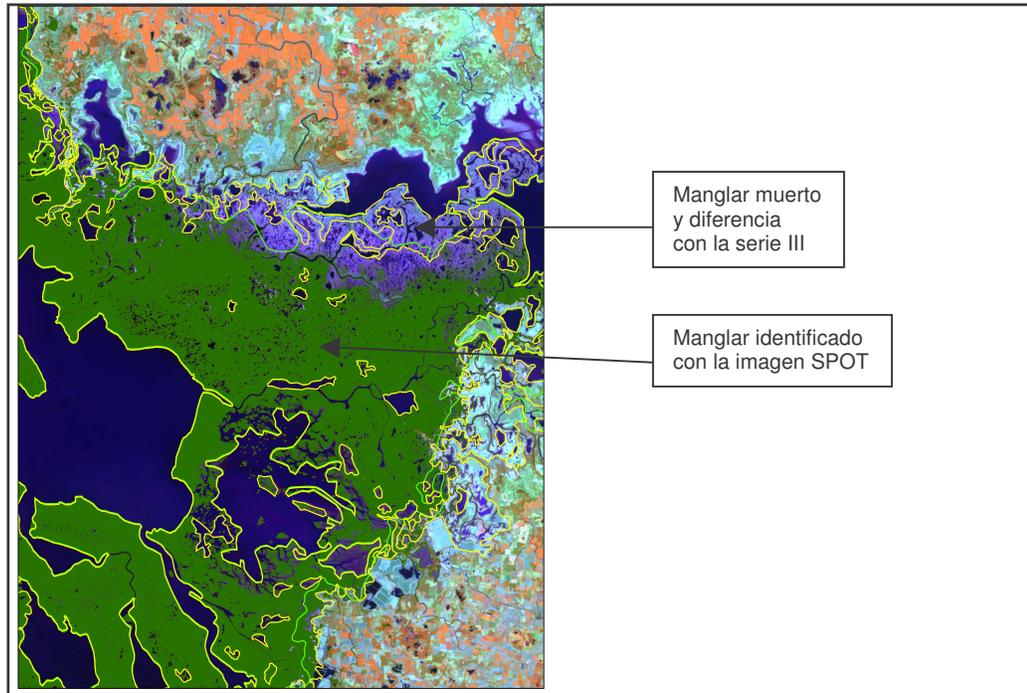
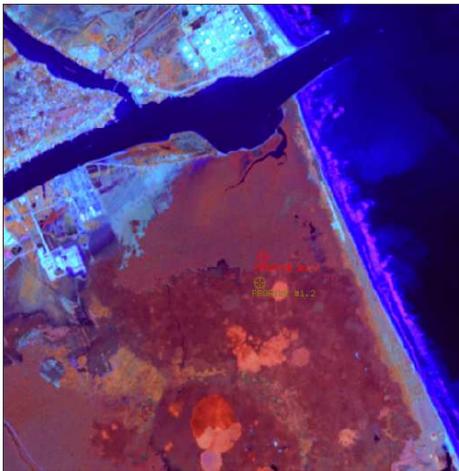
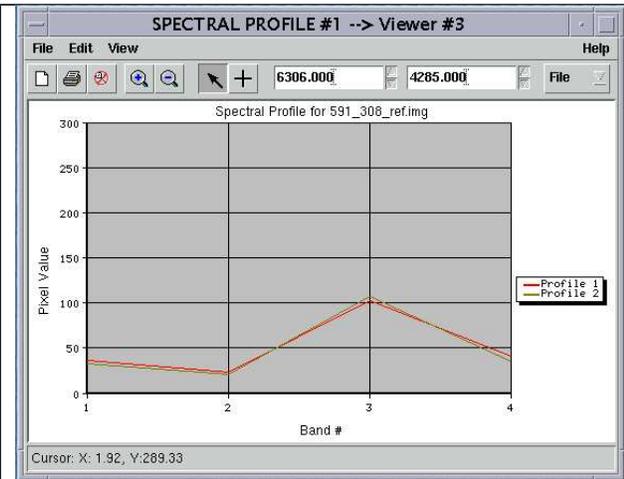


Figura 26. Manglares en Marismas Nacionales, Nayarit (lat, long). En verde, áreas de manglar definida con la ayuda de imágenes Spot, en morado, la zona de manglar muerto de difícil recuperación (Acosta-Velázquez, 2003). La línea amarilla corresponde a la delimitación reportada en la Serie III.

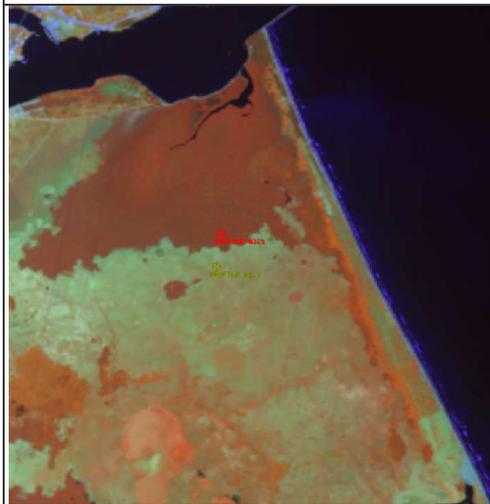
La diferencia de la fecha en la toma de las imágenes origina confusiones en la selección de las áreas a considerar como manglar. Esta situación puede afectar en la identificación de cualquier tipo de vegetación, por lo tanto hay que tener presente la fecha de la imagen. En el siguiente ejemplo, Figura 27, se puede apreciar las diferencias, en la image 1 existe una respuesta espectral semejante, en la Figura a se aprecia los tonos en rojo muy semejantes y esto se puede constatar con los valores reportados (de los puntos 1.1 en color rojo y 1.2 en color café) en el perfil de la respuesta espectral Figura b. Mientras en la Figura c la diferencia de color es notable así como los valores en el perfil Figura d, esto se debe al comportamiento fenológico de la vegetación.



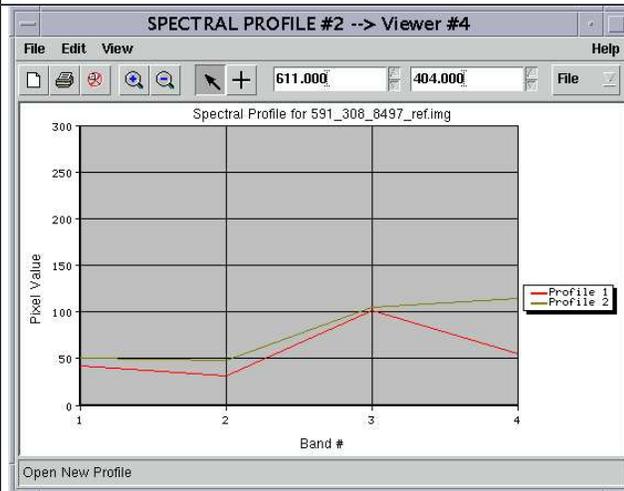
a) Imagen SPOT 22 /sept/2005



b) Respuesta espectral



c) Imagen SPOT 25 /mayo/2006



d) Respuesta espectral

Figura 27. Diferencia entre la temporalidad de la toma de imágenes.

Conclusiones

Se obtuvieron resultados confiables sobre la distribución y extensión actuales de los manglares de México por regiones, por lo que se asume que la cifra reportada de 683,881 ha es la cifra más aproximada de los manglares que quedan en México, los datos que se presentan tienen un desfase entre uno y dos años de acuerdo con la fecha de la toma de las imágenes. Sin embargo cabe mencionar que los datos de campo fueron insuficientes en algunos casos por entidad federativa o por región, como es el caso del Pacífico Centro, donde Colima no presentó ni un solo registro, por lo que en lo que respecta a acciones por seguir será la validación de completa del mapa. Como ya se mencionó, las cifras oficiales en los últimos años están alrededor de las 900,000 ha, lo que representaría una diferencia de más de 200,000 ha, con relación al área obtenida por la CONABIO. Por lo que se concluye que debido a las limitaciones metodológicas para comparar los resultados de las cifras oficiales resulta no operativo establecer tasas anuales de deforestación a nivel nacional. No obstante, en la segunda etapa del proyecto (2008) se pretende estimar la tasa de cambio e identificar los principales agentes de transformación de los manglares del país en un periodo aproximado de 17 años (+-13años), con lo cual se podrán proporcionar cifras anuales de deforestación.

Con relación a las últimas evaluaciones de manglar llevadas a cabo en México, es importante señalar que los mecanismos de clasificación de las coberturas, evaluación y verificación han quedado claramente definidos y acordados a nivel interinstitucional (INE, INEGI, SEMARNAT, CONAFOR, CONABIO), definiéndose los términos de referencia para la elaboración del Inventario Nacional Forestal 2000, así como de futuros inventarios, lo que da certeza y confiabilidad a los resultados, pero sobre todo permite que se realicen comparaciones temporales que facilitarán la determinación de tendencias, la evaluación de tasas de deforestación más precisas y la posibilidad efectiva de planeación y manejo de los recursos forestales.

Pese a lo anterior, es necesario afinar los métodos de estimación y verificación, ya que los resultados de la clasificación correspondientes a este proyecto, fueron principalmente corroborados para la región Pacífico Norte, donde se contó con amplio trabajo de campo obteniendo una exactitud mayor del 80% a nivel de comunidad.

Por otra parte, el conocimiento que se está generando sobre la relación que guarda la estructura forestal de un sitio de manglar con las características espectrales de las imágenes SPOT permitirá, eventualmente, por una parte disminuir el tiempo en la clasificación de las imágenes, por otra conseguir una mayor exactitud en el resultado y además tener la posibilidad

de hacer una clasificación más detallada determinando por ejemplo si se trata de manglar arbustivo, manglar arbóreo, manglar monoespecífico de determinada especie, etc.

Los logros que se han tenido en la primera etapa del proyecto son importantes, los cuales van desde la estimación de la distribución de los manglares a nivel nacional a una escala 1:50 000, el conocimiento general de la relación de la estructura de los manglares con las características espectrales de las imágenes de satélite, la definición de la metodología para la separación de manglares a partir de imágenes SPOT, hasta la organización de un Directorio de expertos en manglares de México en línea (ver más adelante), así como la conformación de un biblioteca digital también en línea (ver más adelante) y algo muy importante es la organización y acuerdos (métodos, definiciones, etc) que se han logrado en cuestión de manglares en los diferentes niveles (academia, gobierno y ONG's) (ver más adelante).

Finalmente, cabe mencionar que el monitoreo de los manglares de México llevará al mejor entendimiento de los procesos que regulan, mantienen o eliminan a este ecosistema, ya que por su condición de ambientes costeros y ecosistemas terminales de las cuencas hidrográficas, dependen en buena medida de factores externos de gran escala, este monitoreo será un auxiliar en la evaluación de los diferentes enfoques de manejo existentes y sus impactos sobre el ecosistema.

Otras actividades relevantes del proyecto

Consolidación de una Red de Monitoreo *in situ* de los manglares de México

El objetivo de esta Red es la integración e intercambio de la información existente de los manglares de México y la generación de información georreferenciada, para su integración en un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permita paulatinamente el monitoreo a largo plazo de los manglares mexicanos y favorecer el intercambio de información. En el sitio web de la Conabio - INE [<http://www.conabio.gob.mx/institucion/redes/doctos/manglares.html>] está publicada información relacionada con manglares y sobre la conformación de la red, además de un directorio de expertos en manglares. Cada usuario cuenta con una clave de acceso y es responsable de la información proporcionada, acerca de los datos generales, grupo de trabajo, sitios de estudio y temas. Hasta el día 28 de agosto del 2007 había 90 personas registradas (este número se incrementa al contabilizar a los miembros de cada equipo de trabajo).

Conformación de una biblioteca digital de referencias especializada en manglares

Utilizando el programa JabRef gratuito (OpenSource) para administrar las referencias bibliográficas [<http://jabref.sourceforge.net>], se han obtenido hasta el momento un acervo con 194 referencias de artículos relacionadas con manglares. Se tiene en formato bib para ser leído tanto por JabRef como por Endnote o cualquier otro software para administrar referencias. Se generó el archivo `reference_mangrove.bib` y se exportó a formato html para colocarlo en el sitio web de manglares de Conabio

(<http://www.conabio.gob.mx/institucion/redes/doctos/manglares.html>)

para distribuir exclusivamente los datos y los resúmenes de las referencias, dadas las restricciones para publicar dichos artículos completos en PDF por los derechos de autor correspondientes.

Colaboración interinstitucional

Se realizaron diversas reuniones para establecer colaboraciones interinstitucionales tanto con otras instituciones gobierno como con instituciones académicas, se desglosan los acuerdos y reuniones en la tabla 16.

Tabla 16. Resumen de las reuniones y acuerdos interinstitucionales (2006-2007).

Instituciones	Fecha	Sede	Acuerdos principales
Universidad de Sonora-INE-CONABIO	Marzo 2006	CONABIO	Evaluación de carácter antropogénico de sitios específicos de interés común
14 instituciones de 10 entidades del país	Junio 2006	CONABIO	Definición de las características principales de un SIG de manglares en línea
INEGI-CONABIO-CONAFOR	Junio 2006	CONABIO	Presentación de proyectos relacionados con manglares
INEGI-CONABIO	Julio 2006	INEGI, Aguascalientes	Se estableció el sistema de clasificación a seguir en este proyecto.
IBUNAM-CONABIO	Agosto 2006	CONABIO	Desarrollo de la tesis de licenciatura de Alma Delia Vázquez Lule, en los manglares de Alvarado, Veracruz. Supervisión IBUNAM-CONABIO.
CONABIO-INE-CONAFOR-INEGI-CNA	Agosto 2006	INEGI, Aguascalientes	Definición y clasificación de manglares
CONANP-CONABIO	Octubre 2006	CONANP, D:F:	Presentación del SIG que usa CONANP
Varias relacionadas con el Inventario Nacional de Humedales (INH)	2005-2007	Varias	El mapa 1:50 000 de los manglares de México de la CONABIO, servirá de insumo en el INH.
SEMAR-CONABIO	Julio-2007	CONABIO	Colaboración logística en la validación del mapa de manglares 1:50 000 (helicóptero, lanchas, y de personal a nivel nacional.

Difusión del proyecto

Con el propósito de dar a conocer el proyecto y los avances del mismo se ha asistido a diversas reuniones académicas, las cuales se enlistan a continuación.

Acosta-Velázquez, J. “Aplicaciones de percepción remota en el inventario y monitoreo de los manglares de México”. UNAM-Centro de Investigaciones en Ecosistemas. Morelia, Michoacán, 21 de febrero del 2006. <http://www.oikos.unam.mx/cieco/seminarios.htm>

Acosta-Velázquez, J., T. Rodríguez-Zuñiga, R.A. Ressler, A.J. Wickel, I. Cruz, D. Ocaña y J. Colín. 2006. Los manglares de México: estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo. I Congreso Mexicano de Ecología, SCME, Morelia, Michoacán. 26-30 de noviembre del 2006.

Acosta-Velázquez, J. Rodríguez-Zuñiga T., Cruz I, Cerdeira-Estrada, S., Ressler R. y Ascensión M. 2007. Estado actual de los manglares de México. Convención Nacional de Geografía 2007. INEGI, Guadalajara, Jalisco, Abril 2007.

<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/eventos/cng2007/tematica/detalleSesion.cfm?idSesion=996>

Rodríguez-Zuñiga T., Acosta-Velázquez J., Cerdeira-Estrada, S., Cruz I., Ascensión M., Ressler, R., Ocaña D. y Colín J. Mangroves of Mexico: Current state and the establishment of a long-term monitoring program. ATBC Linking tropical biology with human dimensions. Morelia, Michoacán. 15-19 de Julio de 2007.

Resumen financiero

En el anexo 10 se encuentra un informe presupuestal del proyecto, para el período del 15 de mayo de 2006 al 30 de agosto del 2007.

Referencias

- Acosta-Velázquez J. 2003. Análisis de la condición del bosque de manglar en el Sistema Lagunar Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales y sus relaciones a nivel de paisaje. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., México. 81 pp.
- Acosta-Velázquez J y A Ruiz Luna (en prensa). Evaluación de la distribución, extensión, estructura y cambios en el sistema de manglar de Bahía Magdalena, mediante técnicas de percepción remota. En: Funes-Rodríguez (Ed). "Estudios ecológicos en Bahía Magdalena". IPN, México.
- Agraz-Hernández CM, R Noriega-Trejo, J López-Portillo, FJ Flores-Verdugo y JJ Jiménez-Zacarías 2006. Guía de campo : Identificación de los manglares en México. México : Universidad Autónoma de Campeche, 45 pp.
- Aizpuru M, F Achard y F Blasco 2000. Global Assessment of Cover Change of the Mangrove Forests using satellite imagery at medium to high resolution. In: EEC Research project 15017-1999-05 FIED ISP FR – Joint Research center, Ispra.
- Arroyo L, Cocero D, Manzanera JA, García Montero LG, Pascual C. 2005. El empleo de clasificadores de contexto para la obtención de cartografía en la interfase urbano forestal, GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. 5: 115-128. ISSN: 1578-5157.
- Baran, E. y J. Hambrey. 1998. Mangrove conservation and coastal management in Southeast Asia: What impact on fishery resources?. *Marine Pollution Bulletin* 37: 431-440
- Campbell JB 1996. Introduction to remote sensing. 2a. edición, Taylor & Francis, Londres, 622 pp.
- Cintrón G y Y Schaeffer-Novelli 1983. Methods for studying mangrove structure. p. 91-131. In: Snedaker S. y Snedaker J. Eds. The mangrove ecosystem: research methods. UNESCO. United Kingdom.
- Congalton RG y K Green 1999. Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. Lewis Publishers. Florida. 180 p.
- Cottam G y JT Curtis 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology* 37(3): 451-460.
- Czitrom S 1998. Océanos in Barda-Pidez, R. La Guía Ambiental. Unión de Grupos Ambientalistas I.A.P., México.
- Day Jr., J. W., C. A. S. Hall, W. M. Kemp y A. Yañez-Arancibia. 1989. Estuarine Ecology. John Wiley Sons, Nueva York, 558 pp.

- Dahdouh-Guebas F y N Koedam 2006. Empirical estimate of the reliability of the use of the Point-Centred Quarter Method (PCQM) : solutions to ambiguous field situations and description of the PCQM+ protocol. *Forest Ecology and Management* 228: 1-18.
- De La Lanza G y JP Ramírez-García 1993. La vegetación de manglar en la laguna de Términos, Campeche. Evaluación preliminar a través de imágenes Landsat. *Hidrobiológica* 3(1-2): 29 - 39.
- FAO-UNEP 1981 Proyecto de evaluación de los recursos forestales tropicales (en el marco del sistema mundial de vigilancia del medio ambiente - SINUVIMA) los recursos forestales de la América tropical. FAO-UNEP. UN 32/6.1301-78-04. Informe técnico 1. www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/007/ad911s/ad911s00.htm
- FAO 2005. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. México. Informe Nacional. FAO. Roma. Informe nacional 189. 68 p.
- FAO 2003. Status and trends in mangrove area extent worldwide.
- Flores-Verdugo FJ 1989. Algunos aspectos sobre la ecología, uso e importancia de los ecosistemas de manglar. p. 21-56. En: J Rosa-Vélez y F González-Farías (eds). Temas de Oceanografía Biológica en México. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, 337 p.
- Gibson, P. J. y C. H. Power. 2000. Introductory remote sensing: Digital image processing and applications. Routledge Taylor & Francis Group, Londres, 249 p.
- INEGI 1987. Guías para la interpretación de cartografía topográfica. Edit. INEGI. México D.F.
- INEGI 2002. Taller de manejo de información geográfica de recursos naturales, El caso de los conjuntos de datos de uso de suelo y vegetación. Presentado en la Conabio, México D.F.
- INEGI 2002. Información estadística. Tipos de vegetación presentes en México y superficie que ocupan.
- INF 2003. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del inventario forestal nacional (2000) Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.
- Landis J y G Koch 1977. The measurements of observer agreements for categorical data. *Biometrics* 33:159-174
- Lankford RR 1977. Coastal lagoons of Mexico, their origin and classification. Academic Press, Nueva York, 182-215 pp.
- Loa LE 1994. Los manglares de México: Sinopsis general para su manejo. En: Suman DO (ed) El ecosistema de manglar en América Latina y la cuenca del Caribe: Su manejo y

- conservación. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science. Univ. de Miami. The Tinker Foundation. Miami – New York. EUA. Pp. 144-151.
- Mather P 1999. Computer processing of remotely-sensed images: an introduction. Chichester, John Wiley and Sons. 306 p.
- Monzalvo-Santos IK 2006. Estimación de la cobertura espacial y análisis de la estructura forestal del manglar en Sinaloa, México, aplicando técnicas de Percepción Remota. Tesis de Maestría. Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 85 pp.
- Nemani RR y JW Running 1989. Estimation of regional surface resistance to evapotranspiration from NDVI and thermal-IR AVHRR data. *Journal of Applied Meteorology* 28: 276-284.
- Osborne PL 2000. Tropical ecosystems and ecological concepts. Cambridge University Press, Cambridge, 464 p.
- Palacio-Prieto JL, G Bocco, A Velázquez, JF Mas, F Takaki, A Victoria, L Luna, G Gómez, J López, M Palma, I Trejo, A Peralta, J Prado, A Rodríguez, R Mayorga y F González 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Investigaciones Geográficas* 43: 183-203.
- Ramírez-Bojórquez PR 2006. Análisis espacial de la cobertura de manglar en los municipios de Tecuala y Santiago Ixcuintla, Nayarit en el periodo de 1973-2005. Tesis de maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., México. 95 pp.
- Ramírez-García JP, J López-Blanco y D Ocaña 1998. Mangrove vegetation assessment in the Santiago river Mouth, Mexico, by means of supervised classification using Landsat TM imagery. *Forest Ecology and Management* 105: 217-229.
- Reyes M 2007. Importancia de la normatividad en la socialización del Conocimiento geográfico. Presentación Realizada en la Convención Nacional de Geografía. Guadalajara Jal. 18 de abril 2007.
- Rodríguez-Zúñiga T 2002. Manglares del sistema lagunar de Alvarado, Ver. México: Influencia de algunos procesos físicos, biológicos y antropogénicos, en su distribución y estructura. Tesis de Maestría, UNAM, Facultad de Ciencias. 104 pp.
- Rollet B 1986. Ordenación integrada de los manglares. Síntesis de siete seminarios nacionales en América Latina. FAO. FO: Misc/86/4. 100p.
- Rouse, J.W. Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering J.A. 1973. "Monitoring vegetatin systems in the Great Plains with ERTS", Third Symposium on Significant Results Obtained with ERTS -1, NASA, SP-351, 309-317.

- Ruiz-Luna A y Berlanga-Robles CA 1999. Modifications in coverage patterns and land use around the Huizache-Caimanero Lagoon system, Sinaloa, Mexico: A multi-temporal analysis using Landsat images. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 49:37-44.
- Ruiz-Luna A , J Acosta-Velázquez y CA Berlanga-Robles. (en prensa) On the reliability of the data of the extent of mangroves; a case study in Mexico (aceptado en *Ocean and Coastal Management*).
- SARH 1992. México 1991-1992 Inventario Nacional Forestal de Gran Visión: Reporte Principal. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaria Forestal, México
- Sawamoto M y S Shin. 1997. Water balance evaluation in the Korean Peninsula through vegetation monitoring. *Journal of Remote Sensing Society of Japan*, 17, 3:220-231
- SEMARNAT 2003. Compendio de estadísticas ambientales 2002. Superficie forestal por ecosistema y tipo de vegetación, 1994 y 2000
- SEMARNAT 2003. Compendio de estadísticas ambientales 2002. Superficie forestal por ecosistema y tipo de vegetación, 1994 y 2000
- Spalding MD, F Blasco y CD Field, eds. 1997. World Mangrove Atlas. The International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa, Japan. 178 pp.
- Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre 1994. Inventario Forestal Periódico 1994.
- Suman D 1994. Situación de los manglares en América Latina y la cuenca del Caribe. In: Suman D (ed). 1994. El ecosistema de manglar en América Latina y la cuenca del Caribe: Su manejo y conservación. p.1-10. Univ. of Miami.
- Tomlinson PB 1986. The Botany of Mangroves. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Tovilla HC 1994. Manglares. En: De la Lanza EG, Cáceres MC (eds) Lagunas costeras y el litoral mexicano. UABCS. México. Pp. 371-423.
- Valiela I, JL Bowen y JK York 2001. Mangrove forests: one of the World's threatened major tropical environments. *BioScience* 51, 10: 807-815
- Yañez-Arancibia A, AL Lara-Dominguez, GJV Zapata, ER Arriaga 1993. En: Lacerda LD y Field CD, eds. Proc. Workshop on conservation and sustainable utilization of mangroves in Latin America and Africa regions, Okinawa. p. 3-4.