



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

"CAMPUS IZTACALA"

29/3/2004

PROCESAMIENTO DE INFORMACION DE IMAGENES LANDSAT-TM EN LA EVALUACION DE LA COMUNIDAD DE MANGLE EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE SIAN KA'AN QUINTANA ROO, MEXICO (PROYECTO TELEMAR-CARIBE)"

T E S I S

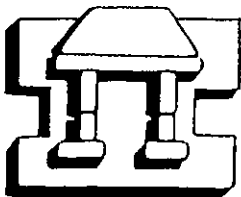
PARA OBTENER EL TITULO DE

B I O L O G O

P R E S E N T A

VICTOR HUGO BASTIDA VILLALOBOS

ASESOR: BIOL. LUIS YANEZ TRUJILLO



IZTACALA

LOS REYES IZTACALA

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

Dedicada a mi madre por todos los años de su vida que dio y sigue dando por mi y mis hermanos, siendo ella un ejemplo a seguir, preocupándose y preparándonos para ser hombres y mujeres de bien. Gracias mamá por todo esto que me enseñaste siendo esta tesis el principio de todo lo que cultivaste en mi todos estos años de mi vida. Te viviré eternamente agradecido no solo por darme la vida sino por darme las armas para sobrevivir en ella. Te quiero mucho mamá.

Dedicada a mi Padre por su cariño, apoyo y compañía siendo el un pilar para la culminación de esta tesis.

A mis hermanos: Hilda, Liz, Jesús, Erika, Nacho y Fernando, siendo los primeros un ejemplo a seguir y tratando de serlo para los dos últimos.

Para Andito que se que el también llegará muy lejos en su vida y aspiraciones contando siempre con mi cariño y apoyo para siempre.

Con especial dedicatoria entrego esta tesis a mi "Cubanita", a el amor de mi vida, a mi esposa Ketty, la cual con su amor, comprensión y apoyo ha marcado mi vida para siempre dando rumbo y sentido a mis actos y pensamientos. Gracias amor mío, esposa mía por estos años difíciles para los dos pero que nos depara un gran futuro para ambos por delante, te viviré eternamente agradecido y para ti siempre hasta el fin de mi vida. Este trabajo de varios años lo terminé gracias a ti, ya que fuiste tu la que con su luz ilumino mi camino y me dio la fuerza, guiando mi alma y mis sentimientos, luchando siempre por llegar mas lejos y mirando siempre hacia adelante, te amo amor mío y para ti todo mi amor y este triunfo.

¡Gracias a mi esposa por creer en mí!

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Maestro en Ciencias Luis Yáñez Trujillo por darme su amistad, conocimientos, asesoría y consejos durante estos más de cuatro años de ardua labor en el laboratorio SIGPER de la UAM Iztapalapa. Igualmente agradezco a mis compañeros del laboratorio Claudia, Luis Antonio, José Luis, Flavio, Cesar y Alfredo por su contribución y ayuda técnica y moral en esta tesis. Así mismo quiero dar las gracias a todos los profesores e instituciones que contribuyeron en mi formación profesional primeramente a la Universidad Nacional Autónoma de México *Campus Iztacala* por brindarme la oportunidad de cursar una carrera profesional. En segundo término pero no así igual de importante que el primero, agradezco a la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa la cual me adoptó desde hace cuatro años, y hasta la fecha ha sido para mí una segunda casa.

De manera muy especial quiero agradecer a mi tío José Luis Villalobos por haberme enseñado el oficio de la música y haberme dado trabajo, ya que sin él nunca hubiera podido culminar este logro. Igualmente le doy las gracias mi primo Ramón y a toda su familia por el apoyo moral y las atenciones que han tenido conmigo.

Quiero agradecer a Nacho por todos sus consejos y apoyo en las etapas más difíciles de mi vida, tus palabras me hicieron meditar y cambiar muchas cosas malas de ella. Gracias a mis suegros, sobrinos y cuñados.

A todos mis amigos y compañeros de la carrera mil gracias.

Gracias a Todos y a Dios

INDICE

<i>Dedicatoria</i>	<i>i</i>
<i>Agradecimientos</i>	<i>ii</i>
<i>Índice</i>	<i>iii</i>
<i>Índice de Figuras</i>	<i>iii</i>
RESUMEN.....	1
1.INTRODUCCION.....	2
2. MARCO TERORICO CONCEPTUAL.....	3
2.1 Vegetación del manglar.....	3
2.1.1 Adaptaciones.....	4
2.1.2 Factores Ambientales.....	7
2.1.2.1 Clima.....	7
2.1.2.2 Temperatura.....	7
2.1.2.3 Precipitación.....	8
2.1.2.4 Suelos.....	8
2.1.2.5 Geomorfología.....	8
2.1.2.6 Hidrología.....	8
2.1.2.7 Fauna de Manglar.....	9
2.1.3 Distribución de los bosques de manglar.....	9
2.1.4 Usos del manglar.....	11
2.1.4.1 Beneficios obtenidos de los manglares.....	11
2.2 Percepción Remota (PR).....	12
2.2.1 Historia.....	12
2.2.2 Definición.....	13
2.2.3 Características de la radiación electromagnética (REM) en el dominio óptico...	14
2.2.4 Espectro Electromagnético.....	15
2.2.5 Interacción de la radiación del espectro óptico con la superficie terrestre.....	17
2.2.6 Firma espectral.....	17
2.2.7 Factores que intervienen en la respuesta espectral de los vegetales.....	18
2.2.8 Landsat Thematic Mapper (TM).....	19
2.2.9 Compuestos de color.....	20
2.2.10 Procesamiento de las imágenes digitales de percepción remota.....	21
2.2.11 Clasificación no supervisada.....	21
2.2.12 Clasificación supervisada.....	21
2.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	21
2.3.1 Definición de SIG.....	21
2.3.2 Componentes de un SIG y tipos de datos.....	21
2.3.3 Datos Raster.....	22

2.3.4	Datos Vector.....	22
2.3.5	Ventajas de un SIG.....	23
2.3.6	Desventajas de un SIG.....	23
3.	ANTECEDENTES.....	24
4.	JUSTIFICACIÓN.....	26
5.	OBJETIVOS.....	28
6.	AREA DE ESTUDIO.....	29
6.1	Localización.....	29
6.2	Antecedentes legales.....	29
6.3	Uso del suelo.....	29
6.4	Descripción del área protegida.....	29
6.4.1	Fisiografía.....	29
6.4.2	Clima.....	29
6.4.3	Hidrología.....	30
6.4.4	Suelos.....	30
6.4.5	Vegetación y flora.....	30
6.4.6	Fauna.....	32
6.4.6.1	Avifauna.....	32
6.4.6.2	Herpetofauna.....	32
6.4.6.3	Mastofauna.....	32
6.5	Amenazas.....	32
6.6	Observaciones.....	33
6.7	Aspectos Socioeconómicos.....	33
7.	METODO	
7.1	Selección del área de estudio.....	34
7.2	Recorte de la imagen de Satélite.....	34
7.3	Digitalización.....	34
7.4	Obtención de información digital.....	34
7.5	Procesamiento de la Imagen.....	34
7.6	Sobreposición y corte de la información digital.....	35
7.7	Trabajo de campo.....	35
8.	RESULTADOS.....	37
9.	DISCUSIÓN.....	51
10.	CONCLUSIÓN.....	53
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	54

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Fam. Rhizophorae (sp. <i>Rhizophora Mangle</i>).....	3
Figura 2.2 Fam. Avicenniiae (sp. <i>Avicennia germinans</i>).....	3
Figura 2.3 Fam. Combretaceae (sp. <i>Conocarpus erectus</i>).....	4
Figura 2.4 sp. <i>Laguncularia racemosa</i>	4
Figura 2.5 y Figura 2.5.1. Raíces sujetadoras.....	5
Figura 2.6. <i>Rhizophora mangle</i> , con las raíces sujetadoras.....	5
Figura 2.7- 2.8- 2.9 Embriones de <i>Rhizophora mangle</i>	6
Figura 2.10 Zonación de los diferentes tipos de Manglar.....	7
Figura 2.11 <i>Trichechus manatus</i>	9
Figura 2.12 <i>Jabirú mycteria</i>	9
Figura 2.13 <i>Crocodylus acutus</i>	9
Figura 2.14 Esquema de un sistema satelital de percepción remota.....	13
Figura 2.15 Espectro electromagnético.....	16
Figura 2.16 Esquema que explica la forma en que la energía es captada, absorbida y reflejada.....	17
Figura 2.17 Firmas espectrales de las tres principales cubiertas terrestres como son : la vegetación, el suelo y el agua.....	18
Figura 2.18 Tipos de cubiertas presentes en la superficie terrestre.....	19
Figura 2.19 Representación del mundo real en formato raster y vector.....	22
Figura 2.20 Representación esquemática de las capas de información geográfica de un área de estudio.....	23
Figura 6.1 Localización del área de estudio.....	30
Figura 8.1 Compuesto a color RGB 4 / 5/ 1, obtenido mediante en análisis de bandas.....	39
Figura 8.1.1 Espaciograma de la Zona de Estudio.....	39
Figura 8.2 Imagen resultante de la clasificación supervisada.....	40
Figura 8.3 Mapa de distribución del mangle según INEGI de 1984.....	43
Figura 8.4 Mapa de distribución del mangle según el CIQRO y gobierno del estado de Q. Roo en la zona de estudio.....	44
Figura 8.5 Mapa de distribución del mangle editado por INEGI de 1984 y corregido por la CONABIO.....	46
Figura 8.6 Mapa de la zona en el Inventario Nacional Forestal donde se muestran los polígonos de mangle.....	47
Figura 8.7 Muestra la grafica de los datos obtenidos de las diferentes fuentes de adquisición de los datos.....	48
Figura 8.8 Mapa de ubicación de los puntos GPS en la zona de estudio.....	50
Cuadro 1. (FAO/Montes,1994). En el podemos observar las superficies estimadas de manglar para América Latina y el Caribe.....	10
Cuadro 2. Presenta las 7 bandas del sensor Landsat TM y sus características	20

PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DE IMÁGENES LANDSAT- TM EN LA EVALUACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MANGLE EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE SIAN KA´AN, QUINTANA ROO, MEXICO, (PROYECTO TELEMAR-CARIBE).

Resumen

Dentro del proyecto de cooperación internacional para la región del Caribe México-Cuba denominado Telemar-Caribe, están siendo tratados los aspectos de conservación de los ecosistemas marinos y costeros de alta diversidad, donde los bosques de mangle, considerados ecosistemas frágiles, tienen un énfasis especial. En el presente trabajo se estimó la extensión y localización del manglar en una parte de la reserva de la Biosfera de Sian Ka´an, y se identificaron los cambios en su cobertura en el tiempo de la obtención de los datos. La metodología utilizada consistió en la digitalización con el SIG Arc-Info, de las cartas topográficas de la zona escala 1: 50 000 de INEGI de 1987, las de uso de suelo y vegetación escala 1:250 000 de 1984, y la editada por el CIQRO y Gobierno del estado de Quintana Roo, basada en fotografías aéreas de 1981 escala 1:250000. Se obtuvo la información digital de la CONABIO para el estado de Quintana Roo y la del Inventario Nacional Forestal basado en imágenes Landsat TM de 1993. Se estimó la superficie y ubicación del bosque de mangle mediante una clasificación supervisada de las imagen Landsat TM de 1993 a la cual se le hizo un recorte de la zona de interés en el software para procesamiento de imágenes GRASS. Se utilizó el compuesto a color 451 ya que esta combinación de bandas fue la que mejor información espectral proporcionó del manglar. La información obtenida de la imagen se cruzó con la información digitalizada topográfica, de uso de suelo y vegetación, la del Inventario Nacional Forestal de 1993 y la de la CONABIO. Por último se realizó una salida de campo con el fin de verificar y georreferenciar los polígonos de bosque de mangle obtenidos mediante el procesamiento digital de la imagen de satélite y las áreas reales. Los resultados se integraron al SIG de Proyecto Telemar-Caribe en forma de: 1) Mapas digitales e impresión de los polígonos de interés, 2) Archivos de imágenes multitemporales procesadas y 3) bases de datos georreferenciadas de la zona.

1. INTRODUCCIÓN

Una excelente alternativa para lograr un mayor conocimiento de las zonas costeras y marinas, que en muchos casos resultan ser territorios de difícil acceso donde se observan variaciones espacio-temporales de gran importancia en sus distintos geosistemas son la asimilación de las tecnologías y métodos de avanzada, representados por la percepción remota (**PR**), los sistemas de posicionamiento global (**GPS**), los sistemas de información geográfica (**SIG**), y la fotogrametría digital (**FD**). Estas tecnologías nos permiten adquirir bases de datos georreferenciadas susceptibles de ser procesadas, analizadas y cartografiadas por medio de los sistemas de información geográfica. Las ventajas y posibilidades que brinda la utilización combinada de estas tecnologías en las investigaciones, son infinitamente superiores en muchos aspectos a las que ofrecen los métodos tradicionales de obtención de geoinformación *in situ*. (Álvarez Portal R. 1998).

En la actualidad, las tecnologías de Percepción Remota (**PR**), los Sistemas de Información Geográfica (**SIG**) y otros métodos y tecnologías, son herramientas útiles para la captura de información georreferenciada de extensos territorios y su procesamiento, lo que permite evaluar, observar, monitorear y cartografiar los recursos naturales con elevada eficacia, gracias al elevado volumen de datos georreferenciados que son captados y manejados por los sensores remotos, y a la potencialidad de análisis de los **SIG**.

Esto brinda la posibilidad de establecer modelos que nos permiten conocer las interrelaciones de las diversas variables ambientales tanto en el espacio como en el tiempo y cartografiar los resultados. En este contexto los bosques de mangle se consideran en la actualidad un importante tópico de estudio debido a la fragilidad de estos ecosistemas y a la importancia que de ellos deriva en el equilibrio del ecosistema costero y marino.

Los manglares, marismas de agua dulce, marismas turbosas, arrecifes coralinos, pastos, algas marinas, lagunas costeras, playas e islas, son los ocho principales tipos de hábitats de humedales o de zonas húmedas que constituyen la zona costera, teniendo los manglares el papel más fundamental.

Los manglares son considerados bosques de plantas leñosas tolerantes a la sal, caracterizados por su común habilidad para crecer y prosperar a lo largo de litorales protegidos de las mareas y que generalmente se localizan entre sedimentos salinos frecuentemente anaerobios. Estos están dominados por un grupo de especies típicamente arbóreas que han desarrollado adaptaciones fisiológicas, reproductivas y estructurales que les permiten colonizar sustratos inestables y áreas anegadas, sujetas a los cambios de las mareas de las costas tropicales y subtropicales protegidas del oleaje.

A estos ecosistemas también se les suele llamar bosques hidrófilos, debido a que por su ubicación costera siempre están en contacto directo con cuerpos de agua de origen marino en combinación con el agua que llega a través de las escorrentías o por la desembocadura de los ríos. En este sentido, se puede definir a los manglares como sistemas estuarinos

naturales, donde ocurren las etapas larvales de innumerables especies marinas y de agua salobre (Von Pralh et-al, 1990). En términos de productividad se sostiene que los manglares son ecosistemas productivos que proveen una importante variedad de recursos de pesca, recursos forestales y millones de aves residentes y migratorias, así como también mamíferos y reptiles. (Altenburg, 1990).

En realidad, no existe una definición que describa totalmente a los manglares pero la mayoría de los autores toman en cuenta elementos en común, como son los múltiples beneficios que ofrecen estos ecosistemas y los mecanismos de adaptación de las especies vegetales que los constituyen, además de la respuesta a condiciones ambientales adversas, tales como la salinidad, la disponibilidad de agua asociada a áreas inundadas o próximas a costas, y la inestabilidad del sustrato, entre otras.

2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Vegetación del manglar

El término manglar no es una clasificación taxonómica sino ecológica, y aún cuando estos se relacionan en cuanto a sus características adaptativas, pertenecen a familias diferentes.

La estructura de los manglares, está determinada por la capacidad de adaptación de las diferentes especies a los gradientes topográficos, a la inestabilidad del sustrato y a la salinidad, de manera que cada especie domina aquellas áreas a la cual se adapta mejor. En estos bosques, la composición de las especies (tomando en cuenta las más comunes en los trópicos), está determinada, en primer lugar, por las especies de la familia *Rhizophorae*, (Figura 2.1) las cuales por su mayor resistencia se encuentran en mayor contacto con el agua y en los sustratos más inestables; luego se encuentra la familia *Avicenniae*, (Figura 2.2) las cuales sólo pueden soportar inundaciones periódicas; y luego las *Combretaceae*, entre ellas el *Conocarpus erectus* (Figura 2.3) y *Laguncularia racemosa*, (Figura 2.4) ubicadas en tierra firme. La estructura de los manglares ha sido clasificada tomando en cuenta los gradientes topográficos y la exposición a inundaciones, en 5 tipos estructurales de bosque, denominados como: manglar de faja o borde, de cuenca, ribereño, de sobreinundación y enano (Snedaker y Getter, 1985).



Figura 2.1 Fam. *Rhizophorae*
(sp. *Rhizophora Mangle*)



Figura 2.2 Fam. *Avicenniae*
(sp. *Avicennia germinans*)

naturales, donde ocurren las etapas larvales de innumerables especies marinas y de agua salobre (Von Pralh et-al, 1990). En términos de productividad se sostiene que los manglares son ecosistemas productivos que proveen una importante variedad de recursos de pesca, recursos forestales y millones de aves residentes y migratorias, así como también mamíferos y reptiles. (Altenburg, 1990).

En realidad, no existe una definición que describa totalmente a los manglares pero la mayoría de los autores toman en cuenta elementos en común, como son los múltiples beneficios que ofrecen estos ecosistemas y los mecanismos de adaptación de las especies vegetales que los constituyen, además de la respuesta a condiciones ambientales adversas, tales como la salinidad, la disponibilidad de agua asociada a áreas inundadas o próximas a costas, y la inestabilidad del sustrato, entre otras.

2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Vegetación del manglar

El término manglar no es una clasificación taxonómica sino ecológica, y aún cuando estos se relacionan en cuanto a sus características adaptativas, pertenecen a familias diferentes.

Las estructura de los manglares, está determinada por la capacidad de adaptación de las diferentes especies a los gradientes topográficos, a la inestabilidad del sustrato y a la salinidad, de manera que cada especie domina aquellas áreas a la cual se adapta mejor. En estos bosques, la composición de las especies (tomando en cuenta las más comunes en los trópicos), está determinada, en primer lugar, por las especies de la familia *Rhizophorae*, (Figura 2.1) las cuales por su mayor resistencia se encuentran en mayor contacto con el agua y en los sustratos más inestables; luego se encuentra la familia *Avicenniae*, (Figura 2.2) las cuales sólo pueden soportar inundaciones periódicas; y luego las *Combretaceae*, entre ellas el *Conocarpus erectus* (Figura 2.3) y *Laguncularia racemosa*, (Figura 2.4) ubicadas en tierra firme. La estructura de los manglares ha sido clasificada tomando en cuenta los gradientes topográficos y la exposición a inundaciones, en 5 tipos estructurales de bosque, denominados como: manglar de faja o borde, de cuenca, ribereño, de sobreinundación y enano (Snedaker y Getter, 1985).



Figura 2.1 Fam. *Rhizophorae*
(sp. *Rhizophora Mangle*)



Figura 2.2 Fam. *Avicenniae*
(sp. *Avicennia germinans*)

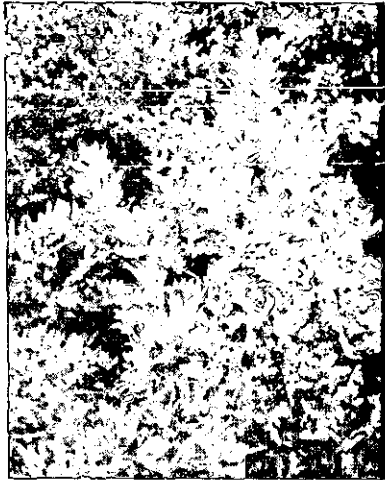


Figura 2.3 Fam. *Combretaceae*
(sp. *Conocarpus erectus*)



Figura 2.4 sp. *Laguncularia racemosa*

Manglares de borde o franja: Están situados a lo largo de litorales ligeramente inclinados de tierra firme e islas grandes. Frecuentemente expuestos a bahías abiertas y reciben oleajes entre moderados a suaves. Se desarrollan mejor en islas que impiden el lavado excesivo de las costas, producido por las mareas altas.

Manglares de Cuenca: Se observan en depresiones topográficas con poco flujo y reflujos de agua. Las aguas de inundación tienden a acumularse en la depresión y raramente sufren un intercambio durante el ciclo de las mareas. Están ubicados frecuentemente tierra adentro en formaciones semejantes a una hilera de ramales a lo largo de los drenajes terrestres internos y ocurren también en islas. Generalmente están expuestos a aguas menos salinas por períodos más largos del año en comparación con los bosques costeros. El flujo y reflujos de aguas salinas ocurre probablemente durante las mareas externas altas y causadas por tormentas.

Manglares Ribereños: Ocurren en los llanos de inundación de drenajes de agua dulce proveniente de los ríos, los cuales son inundados por corrientes de agua durante los períodos de abundante lluvia y escorrentía. Están sujetos a mareas y sometidos a un lavado regular .

Manglares de inundación: Tienden a ocurrir en llanos de mareas e islas completamente inundados. En estos bosques se pueden encontrar todas las especies, pero por lo general su altura no es mayor de 5 m.

Manglares enanos: Ocurren donde existen severas limitaciones para el crecimiento y desarrollo, rara vez pasan de 1,5 m. Típicamente forman una comunidad escasa y dispersa en forma de matorrales. Se localizan en ambientes con carbonatos y zonas áridas.

Es importante destacar que aunque cada bosque cumple con las mismas funciones de respiración, producción y ciclaje de nutrientes, cada uno tiene, de acuerdo a su estructura,

patrones diferentes de regulación, los cuales están relacionados con condiciones ambientales específicas que promueven o restringen sus funciones.

2.1.1 Adaptaciones:

Las especies de los manglares pertenecen a grupos taxonómicos diferentes, pero presentan muchas características en común, como lo es la capacidad de adaptarse a las condiciones adversas que se presentan en estos ecosistemas. Estas características son:

1) La marcada tolerancia a la salinidad sin ser necesariamente halófitas (tolerantes a alta salinidad), 2) la presencia de raíces sujetadoras, estructuras respiratorias y filtradoras para el intercambio de gases en sustratos anaerobios (Figura 2.5 y 2.5.1), y 3) embriones capaces de flotar, cuyo mecanismo es la dispersión a través del agua (Von Prahl, *et-al*, 1990).

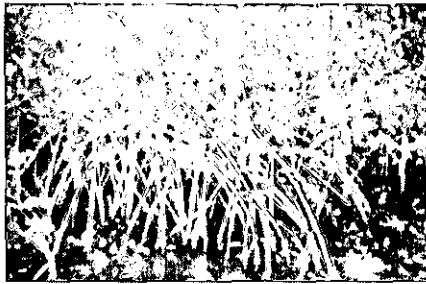


Figura 2.5. Raíces sujetadoras

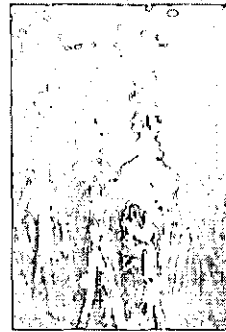


Figura 2.5.1.

Entre estas adaptaciones las más llamativas son las del sistema radicular. El mangle rojo, *Rhizophora mangle* se caracteriza por poseer raíces que penetran el suelo, se ramifican y emiten una serie de raíces aéreas en forma de zancos, también llamadas raíces adventicias con las cuales puede aumentar su superficie de sustentación en suelos inestables fangolimosos. Estas raíces superficiales poseen una serie de poros que les permiten incorporar nutrientes y realizar el intercambio de gases. Este tipo de adaptación les permite estar en contacto directo con el agua salada. (Figura 2.6)

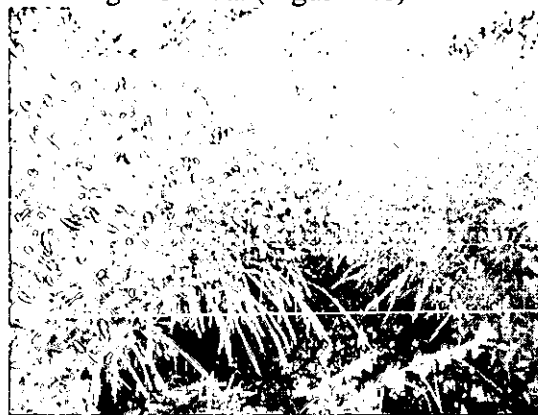


Figura 2.6 *Rhizophora mangle*, con las raíces sujetadoras.

El mangle negro, *Avicennia germinans*, al igual que el mangle blanco, no forma grandes raíces en zancos, pero desarrollan pequeñas raíces adventicias que sobresalen del sustrato, caracterizadas por poseer poros respiratorios llamados neumatóforos. Estas especies no

tienen la capacidad de soportar sustratos tan inestables, por lo tanto se localizan en sustratos que están en menor contacto con el agua, aunque pueden ser inundados periódicamente (Von Prahl, *et-al*,1990).

En cuanto a las estrategias de dispersión, todas estas especies desarrollan estructuras flotantes en sus diásporas, con reservas de aire, lo que les permite su transporte a través del agua. Los embriones del mangle rojo son alargados y puntiagudos, con una longitud entre 25 y 60 cm. Cuando caen sobre el sustrato pueden germinar rápidamente, si caen en el agua, pueden flotar verticalmente y conservar su viabilidad hasta por 12 meses, e incluso llegan a desarrollar raíces de fijación. (Figura 2.7, 2.8, 2.9)

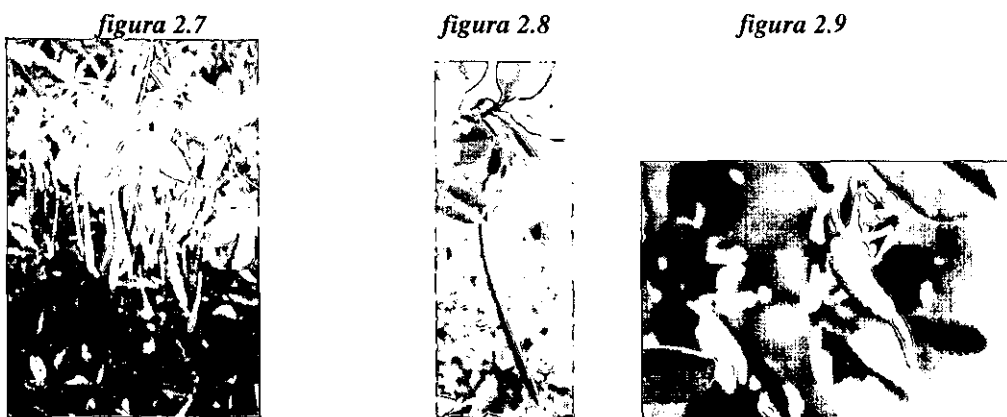


Figura 2.7- 2.8 - 2.9 Embriones de *Rhizophora mangle*

En México son cuatro las especies de plantas características del manglar: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erecta*. Todas se presentan tanto del lado del Atlántico y Caribe Mexicano como del pacífico y a menudo se hallan en la misma localidad, aunque en otro sitio pueden faltar una o varias (Rezdowsky J.,1983). *Rhizophora* es indudablemente el componente más común y típico de los cuatro; este mangle forma con frecuencia comunidades puras que son las mas sumergidas y más expuestas a cambios de nivel de agua y salinidad; presentan raíces zancas arqueadas, que se fijan en sitios cubiertos con una capa de agua de 1 a 1.5m de profundidad. *Laguncularia* puede acompañar a *Rizophora*, aunque por lo general se desarrolla en sitios de agua menos profunda. *Avicennia* en cambio, prospera formando bosquecillos o matorrales a lo largo de una franja situada tierra adentro en suelos emergidos durante la mayor parte del tiempo y que se inundan solo ligeramente. *Conocarpus* ocupa los lugares menos afectados por la sumersión en agua salada, aunque a veces constituye agrupaciones sobre suelos permanentemente anegados (Figura 2.10). La dinámica de estos ecosistemas está determinada por una serie de factores marinos y terrestres, como el clima local, la geomorfología, la salinidad, la frecuencia y duración de las inundaciones y la distancia al mar, características que a su vez determinan en gran medida la distribución de las especies y sus sucesiones en la geología terrestre (Altenburg, 1990).

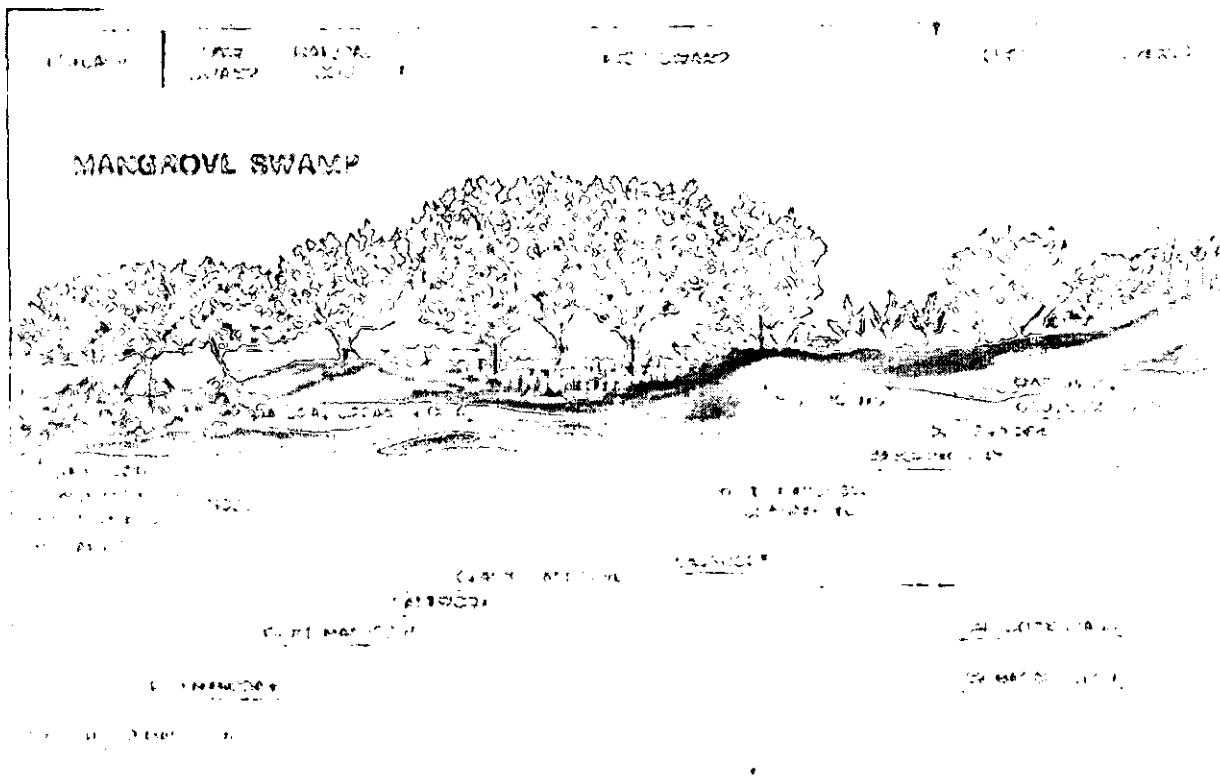


Figura 2.10. Zonación de los diferentes tipos de Manglar
 Tomada de : <http://www.nhmi.org/mangroves/phy.htm>

2.1.2 Factores Ambientales

Los manglares son ecosistemas muy variados en cuanto a su composición y estructura, marcando la transición entre mar y tierra. Poseen múltiples valores ecológicos entre los que se destacan la producción de hojarasca, detritos y compuestos orgánicos solubles que son aprovechados por gran cantidad de organismos que conforman complejas redes alimentarias, constituyendo de esta manera el hábitat de una variada fauna residente y migratoria (Mainardi, V. 1996). Además, mantienen la producción pesquera y desempeñan otros papeles importantes en lo que se refiere a valores sociales y económicos. Los factores que determinan la dinámica de los manglares, tales como el clima, la hidrología, características del suelo, etc. se describen a continuación.

2.1.2.1 Clima

En este aspecto se describen las características de la temperatura y las precipitaciones como factores bioclimáticos fundamentales en la dinámica de los manglares. Es interesante notar que la distribución del manglar en México está regida principalmente por la temperatura, pues esta comunidad solo prospera en zonas cálidas (Rzedowski, J. 1983).

2.1.2.2 Temperatura

La temperatura invernal más fría es mayor a los 20°C y suele ser constante durante todo el año con variaciones menores a 5°C. Las altas temperaturas, en combinación con una alta radiación solar, aumenta la evapotranspiración y por lo tanto aumenta los niveles de

salinidad del suelo, condición que puede ser perjudicial para el desarrollo, puesto que se van formando fuertes costras salinas en la superficie (Von Prah, H., *et-al*, 1990).

2.1.2.3 Precipitación

Este factor juega un papel fundamental en el control de la salinidad del suelo ya que altas tasas de precipitación reducen la hipersalinidad. Se sostiene que los manglares prosperan mejor en zonas donde la precipitación es mayor a los 2500 mm anuales (FAO/Montes, 1994). En zonas donde la precipitación es inferior a 1500 mm/año, suelen formarse salinas como ocurre en Cuba y parte de Panamá. Estudios realizados reportan que en la costa sur de Costa Rica donde las estaciones son menos pronunciadas y la precipitación anual varía entre 2100 y 6400 mm, los árboles de mangle superan los 35 m de altura, así como también los de la Guyana Francesa, Surinam y el Norte de Brasil. (Lacerda, D., *et-al*, 1993).

2.1.2.4 Suelos

Se clasifican los suelos de manglar en dos categorías: orgánicos e inorgánicos (Von Prah, H., *et-al*, 1990). Los suelos inorgánicos se forman por depósitos de limo y arcillas en llanuras aluviales, definidas éstas, como terrazas de sedimentos que se depositan a lo largo del cauce de los ríos como producto de la erosión. Estos suelos son generalmente ricos en nutrientes, tales como calcio, magnesio y potasio, los cuales son retenidos temporalmente del lavado. En esta categoría existe otro tipo de suelos que pierde los nutrientes por lixiviación y acumulan elementos tóxicos como hierro y aluminio; por lo general los manglares se desarrollan en este tipo de suelo pobre en nutrientes.

Los suelos orgánicos se forman por la alta acumulación de restos orgánicos, caracterizados por poseer poco contenido de arcilla, limo y arena. Se mantienen por procesos anaerobios y los nutrientes se liberan por la descomposición de la materia orgánica en las zonas aeróbicas, con una continua remineralización. Son inundados periódicamente pero su drenaje interno es lento, por lo que mantiene una saturación permanente de agua.

2.1.2.5 Geomorfología

Los manglares crecen en llanuras litorales de deltas, los cuales se forman a partir de los sedimentos fluviales que provienen de la erosión, como producto del lavado de las rocas. Estos sedimentos son transportados por los ríos y arroyos hacia el mar, depositándose en la desembocadura de los ríos, cuando están protegidos del oleaje y cuando el río disminuye su velocidad. La forma de los deltas depende de los sedimentos acarreados, bien sea limo, arcilla, arena o calizas. Son determinantes en la estructura de los bosques de manglar (Lacerda, D., *et-al*, 1993).

2.1.2.6 Hidrología

Los bosques de manglar se ubican en sistemas estuarinos de suelos inundables perennes o estacionalmente por aguas salobres. La cantidad de agua dulce que va a los manglares depende del tamaño de la cuenca, del caudal de los ríos, de las precipitaciones y de la desviación de los cauces por intervención humana. Se sostiene que por lo general las principales tasas de transporte de agua ocurren durante períodos cortos (1-2 horas) del ciclo

de marea. El flujo dentro de la vegetación es lento, a pesar de la velocidad que lleve la corriente; se estima un flujo que rara vez excede de los 5 cm/seg. Los manglares más desarrollados se establecen en regiones con aporte abundante de agua dulce, pero se debe considerar que estas grandes descargas también afectan negativamente disminuyendo las densidades o la posibilidad de que se desarrollen, como lo es el caso del río Amazonas cuya descarga es tan alta en su desembocadura, que ocasiona la invasión de glicófitas (plantas de agua dulce), tan exitosamente, que excluyen a los manglares (Lacerda, D., *et-al*, 1993).

2.1.2.7 Fauna de Manglar

La fauna de los manglares incluye ejemplares de hábitats marinos y terrestres; la presencia de la mayoría de las especies depende de las mareas y las fases de los ciclos vitales. Tanto la fauna residente como la migratoria es abundante y diversa. Muchas áreas de manglar en América Latina y el Caribe se han tornado en santuarios importantes para el mantenimiento de algunas especies amenazadas de extinción, tales como, la garza *Jabirú mycteria*, (Figura 2.12) el manatí *Trichechus manatus*, (Figura 2.11) el caimán de la costa *Crocodylus acutus* (Figura 2.13), así como varias especies de tortugas marinas. En las localidades donde las aguas son transparentes, las raíces de *Rhizophora mangle* albergan muchas especies de invertebrados marinos como las esponjas, moluscos, crustáceos y algas. Entre las especies más comunes en estas comunidades se encuentra la ostra de mangle *Crasostrea rhizophorae*, la cual es uno de los productos fundamentales en la economía de los pobladores costeros; y el cangrejo de mangle *Aratus pisonii*, que tiene un papel fundamental en los procesos de herbívora. Adicionalmente a la fauna acuática y a la gran diversidad de aves, muchos reptiles y mamíferos habitan los bosques de manglar. Muchos de ellos son residentes o visitan los bosques en una u otra etapa de sus ciclos vitales como parte de sus actividades diarias durante sus migraciones (Lacerda, D., *et-al*, 1993).



Figura 2.11 *Trichechus manatus*



Figura 2.12 *Jabirú mycteria*



Figura 2.13 *Crocodylus acutus*

2.1.3 Distribución de los bosques de manglar

La distribución de los manglares corresponde a la de los bosques tropicales, extendiéndose hacia el norte y sur del Ecuador. Pocas veces se encuentran más allá de los trópicos, debido a que estos ecosistemas son sensibles a las temperaturas de heladas o congelamiento. Los límites de latitud están determinados por la temperatura y sólo se extienden al norte o al sur

en aquellas regiones donde las corrientes costeras modifican el clima (Snedaker y Getter, 1985). En los bosques de manglar se pueden distinguir dos zonas principales de distribución, las cuales han sido divididas en: La zona Occidental, que incluye África Occidental, y las costas de América y el Caribe; y la zona Oriental, que comprende la costa Africana Oriental, el sur de Asia y el Pacífico, incluyendo las islas hasta Australia; en esta zona es donde se concentra la mayor diversidad, aunque aún no se puede afirmar concisamente el número de especies para cada hemisferio. Se sostiene la teoría de que esta desproporción se debe a que las corrientes oceánicas evitan el movimiento y migración de las especies. Se estima que el área total de manglares a nivel mundial es de aproximadamente 16,530, 000 ha, de los cuales, los manglares de América Latina y el Caribe constituyen 5,831,000 ha, o sea 35,27 % del área total. De acuerdo con estos datos, las mayores extensiones de bosques se localizan en Brasil con 2,500,000 ha de su superficie y México con 660,000 ha. (FAO/Montes,1994)

<i>SUPERFICIES ESTIMADAS DEL MANGLAR EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE</i>	
PAIS	SUPERFICIE (ha)
Belice	75 000
Brasil	2 500 000
Colombia	307 000
Costa Rica	39 000
Cuba	448 000
República Dominicana	9 000
El Salvador	36 000
EUA	178 000
Guyana Fr.	55 000
Guadalupe	3 000
Guatemala	50 000
Guyana	150 000
Haití	18 000
Honduras	145 000
Jamaica	7 000
Martinica	2 000
México	660 000
Nicaragua	60 000
Panamá	486 000
Perú	28 000
Surinam	115 000
Trinidad y Tobago	4 000
Venezuela	260 000
Total	5 831 000
Total Mundial	15 530 000

Cuadro1. (FAO/Montes,1994). En el podemos observar las superficies estimadas de manglar para América Latina y el Caribe.

2.1.4 Usos del manglar

Desde tiempos inmemoriales, las comunidades locales han extraído de los manglares los recursos que necesitaban. Como ejemplo, a continuación se muestran los beneficios obtenidos de los manglares.

2.1.4.1. Beneficios obtenidos de los manglares

<u>Energía/combustible</u>	<u>Pesca</u>
- Leña para cocinar)	- Nasas para peces
- Leña para ahumar (pescados, caucho...)	- Boyas de pesca
- Leña para ladrillos	- Venenos para pesca
- Carbón	- Taninos conservantes de redes
- Alcohol	-
<u>Agricultura</u>	<u>Papel</u>
-	-
- Forraje	- Papel
- Abonos verdes	- Envoltura cigarrillos
<u>Comida/Medicinas/Bebidas</u>	<u>Hogar</u>
- Peces, crustáceos, moluscos, aves, huevos, mamíferos, reptiles, anfibios e insectos	- Ceras
- Miel de abeja	- Muebles
- Azúcar	- Aceite para el pelo
- Bebidas	- Herramientas de casa
- Aceite de cocina	- Morteros para arroz
- Vinagre	- Juguetes
- Bebidas fermentadas	- Palos de fósforos
- Condimentos de la corteza	- Incienso
- Edulcorantes, verduras, hojas y frutas	- Cajas de embalaje
- Medicinas de hojas y cortezas	
<u>Textiles</u>	
- Fibras	
- Colorantes para el agua	
- Taninos para curtir	

2.2 Percepción Remota (PR)

2.2.1 Historia

Se puede decir que la percepción remota como tecnología nació con la toma de las primeras fotografías. En 1859 el fotógrafo parisino Felux Nader tomo la primera fotografía desde un globo en la ciudad de París. Históricamente fueron la placa o el film fotográfico sobre plataformas aéreas los sensores remotos por excelencia, pero a partir de las últimas décadas debieron convivir con los sensores electrónicos, cada vez más numerosos y sofisticados, montados sobre plataformas suborbitales y satelitales.

La teledetección desde plataformas aéreas, sea con placas o films fotográficos o sensores electrónicos si bien sigue constituyendo una muy valiosa fuente de información, a partir de 1960 debió comenzar a compartir su rango de aplicaciones con las tecnologías de teledetección desde plataformas satelitales. En efecto, hasta 1946 la percepción remota se efectuaba fundamentalmente desde aviones o globos. En 1946 se tomaron las primeras fotografías desde cohetes V-2 capturados a los alemanes y tales experiencias fueron decisivas para ilustrar el valor potencial de la fotografía desde alturas orbitales. Dicho potencial se volvió más aparente a través de las misiones espaciales a partir de 1961: Mercury, Gemini y Apolo. El Apolo 9, en particular, realizó la primera experiencia de fotografía orbital multiespectral para el estudio de los recursos terrestres. Estas experiencias fueron continuadas en posteriores misiones (Skylab, Apolo-Soyuz Test Project, etc.). Sin embargo, el año 1972 marca un hito en la carrera espacial: fue en dicho año que EE.UU. lanzó en un vehículo Delta el primero de una serie de satélites ópticos especialmente destinada a monitorear recursos terrestres. Dicha serie, que se denominó ERTS (Earth Resources Technology Satellites) después renombrada LANDSAT, de la cual aún permanecen operativos el LANDSAT-5 y el LANDSAT-7, este último recientemente puesto en órbita. A su vez Francia, con la participación de Suecia y Bélgica, lanzó en 1986 en un vehículo Ariane el primer satélite de la serie SPOT (Système Pour l'Observation de la Terre) continuando operativos el SPOT-2 y el SPOT-4. Actualmente existen numerosas plataformas satelitales similares al LANDSAT y SPOT pertenecientes a diferentes países (EE.UU, India, Rusia, Japón, etc.). También existen otros sistemas satelitales destinados sobre todos a estudios meteorológicos y ambientales como por ejemplo los de la serie NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y los meteorológicos geostacionarios como los de la serie GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) y METEOSAT.

Sería muy extenso referirnos aquí a la diversidad de plataformas orbitales de observación, actualmente en órbita, pero podemos decir que el desarrollo que se inició en la década de 1960 se ha vuelto vertiginoso. Distintos factores han condicionado este comportamiento que ha llevado a la Percepción Remota a su etapa verdaderamente comercial. Uno de tales factores fue la liberación para usos civiles, particularmente luego del fin de la Guerra Fría, de tecnología reservada hasta entonces para uso militar. Debe señalarse que los sistemas satelitales mencionados pueden registrar las imágenes terrestres simultáneamente en varias bandas espectrales, usualmente ubicadas en las regiones visible e infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo termal del espectro de las radiaciones electromagnéticas. Esto permite discriminar la naturaleza de los objetos terrestres e incluso clasificarlos. Los sistemas óptico-telescópicos de estos satélites enfocan las escenas terrestres sobre arreglos

de detectores de estado sólido sensibles a las regiones espectrales para las que se desea registrar las imágenes. Las señales analógicas generadas por los detectores son digitalizadas a bordo del satélite para su retransmisión a estaciones rastreadoras terrestres.

*Tomado de: <http://www.teledet.com.uy/percepdesdesat.htm>.

2.2.2 Definición

La Percepción Remota es un conjunto de procedimientos que permite captar imágenes y datos numéricos de los objetos situados a una determinada distancia entre éstos y el sensor remoto; o sea, obtener información de la superficie terrestre sin entrar en contacto directo con ella. Para que esta tarea se pueda llevar a cabo, debe existir una forma específica de interacción entre los objetos y el sensor, que no es más que la acción de registrar de una forma u otra una determinada energía electromagnética que refleje, emita o que simultáneamente emita y refleje el objeto y que el sensor remoto esté diseñado para captarla a una gran distancia, registrarla en forma de imágenes o de datos numéricos y almacenarlos para luego ser procesados. (Álvarez Portal, R., 1995) Figura 2.14

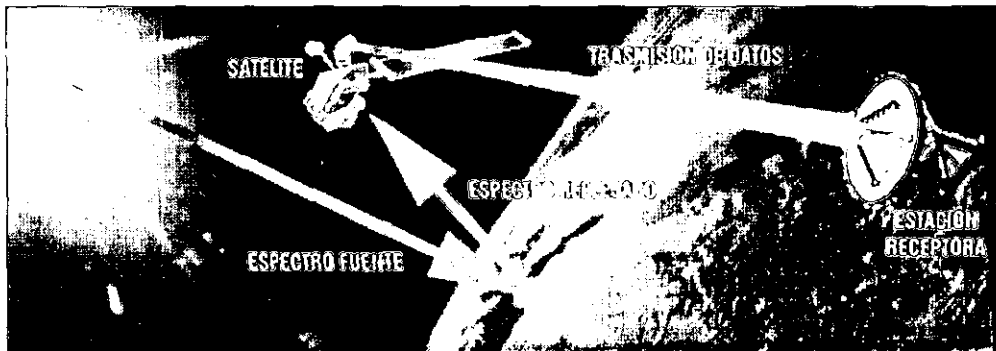


Figura 2.14 Esquema de un sistema satelital de percepción remota.

*Tomado de: <http://www.teledet.com.uy/quees.htm>

Por ejemplo, un sensor remoto fotográfico (cámara fotográfica), es capaz de captar mediante su objetivo la luz solar que es reflejada por los objetos del terreno. Cada cubierta, como ya se sabe, refleja la luz solar incidente con un valor de radiancia específico, que depende de sus características reflectivas y de otros factores que regulan este fenómeno. Al realizar la obturación con un valor dado de apertura del diafragma de la cámara, el objetivo construye la imagen óptica del terreno, enfocándola (proyectándola) nítidamente y a una escala dada sobre el plano focal, donde se encuentra la película fotosensible. En este instante ha ocurrido el proceso de captación de la energía radiante reflejada por el terreno, que es portadora de la información sobre la radiancia de cada detalle de los objetos (Chuvieco, E., 1990). La captura de imágenes por un sensor remoto dado puede basarse en el registro de la energía emitida por los cuerpos (cubiertas terrestres) y obtenerse de esta forma datos sobre la temperatura superficial de los mismos con el fin de confeccionar un mapa de variaciones térmicas espaciales. También existen sensores remotos que generan el flujo energético necesario para irradiar ("iluminar") al objeto, y los sensores que captan y registran posteriormente la reflexión de esta energía reflejada por el terreno. Por lo tanto, el flujo energético que se refleja por el terreno, se propaga en el espacio y llega al sensor

remoto, será una forma específica de radiación electromagnética que es portadora de la información utilizada en la percepción remota (Alvarez Portal, R., 1995).

Entre la superficie y el sensor remoto se interpone la atmósfera, que influye negativamente sobre la calidad de la imagen registrada, dispersando y absorbiendo en cierta medida la radiación reflejada por el terreno y creando apantallamientos entre esta y el sensor a causa de la cobertura nubosa (Alvarez Portal, R., 1995).

2.2.3 Características de la radiación electromagnética (REM) en el dominio óptico

Es conocido de la Física, que la energía radiante se propaga en el espacio a una velocidad igual a:

$$C = \lambda \cdot f = 3 \times 10^8 \text{ m/s en el vacío } (\lambda \text{ es la longitud de onda y } f \text{ es la frecuencia})$$

λ Se expresa en micras, nanómetros y en otras unidades de medida.

f Se expresa en Hertzios, ciclos por segundo.

La energía electromagnética se propaga en el espacio conteniendo dos campos de fuerzas ortogonales: uno eléctrico y otro magnético. Mientras mayor sea la longitud de onda (λ) de la radiación electromagnética (REM), menor será la frecuencia y viceversa.

De acuerdo a la Teoría Cuántica, se plantea que la cantidad de energía que porta un fotón será igual a:

$$Q = h \cdot f$$

Donde:

h es la Constante de Planck ($6,6 \times 10^{-34}$ Julios)

f es la frecuencia de la onda.

Por consiguiente:

$$Q = h \cdot (c / \lambda)$$

De esta última expresión se deduce que mientras menor sea la longitud de onda de la REM mayor será la energía de esta radiación. Esto provoca que sea más compleja la tecnología de los sensores remotos que captan la REM en las bandas de longitudes de onda larga; por ejemplo, el Radar. Entonces, todo el rango de REM es posible describirlo a través de la longitud de onda o de su frecuencia. Cada tipo de energía radiante manifiesta un comportamiento similar en determinados diapasones o bandas de longitudes de onda. La distribución y organización de la REM de estas bandas por longitudes de onda y/o frecuencias, se denomina **Espectro Electromagnético**, (Figura 2.15) el cual se extiende de forma continua desde las longitudes de onda más cortas (Rayos Gamma y Rayos X) hasta las más largas (ondas largas de telecomunicaciones). Las longitudes de onda más cortas se expresan en micras ($\mu\text{m} = 10^{-6}$ m) y las más largas en centímetros, metros o en valores de frecuencia (**gigahercios = Ghz = 10^8 Hz**).

Como la Percepción Remota emplea sensores remotos que funcionan en bandas de la REM para las cuales la atmósfera es transparente (ventanas de transparencia atmosférica), se destacan varias bandas espectrales que son las más empleadas en la captura de imágenes:

2.2.4 Espectro Electromagnético

Las bandas espectrales empleadas usualmente en el proceso de captar imágenes mediante la percepción remota son:

- **Espectro visible** (0,4-0,72 micrones)

Es la única radiación que puede captar el sentido de la visión humana. En esta banda la radiación solar presenta su máxima energía.

- **Infrarrojo cercano** (0,7-1,3 micrones)

Denominado también infrarrojo fotográfico o reflejado, es posible registrarlo mediante películas infracromáticas (infrarrojas blanco y negro e infrarrojas color o falso color).

- **Infrarrojo medio** (1,3-8 micrones)

En esta banda se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y la emisión térmica de la superficie terrestre.

- **Infrarrojo lejano o térmico** (8-14 micrones)

Abarca la banda de emisividad de las cubiertas terrestres. Las leyes que rigen la captura de datos por percepción remota en esta banda son las correspondientes a la radiación del cuerpo negro absoluto.

- **Región de las microondas** (a partir de 1 mm)

Esta banda es de gran interés para la percepción remota de zonas tropicales y subtropicales, debido a que es un tipo de energía transparente a la cobertura nubosa.

Espectro Electromagnético

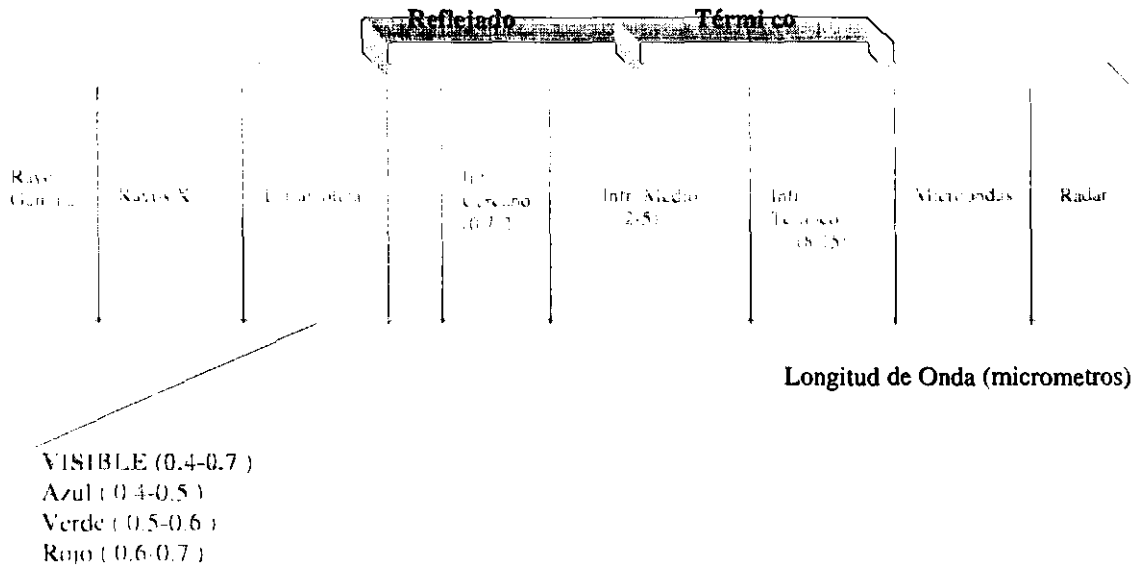


Figura 2.15 Espectro electromagnético.

*Tomado de Notas de clase en el III Diplomado en PR y SIG, 1998

El sol irradia a una temperatura de color igual a 6000 Kelvin. La magnitud *temperatura de color* expresa numéricamente cuál es la radiación de un cuerpo dado, cuando el cuerpo negro absoluto se encuentra a esa temperatura. Según la Ley de Wien, a medida que el cuerpo negro absoluto se calienta, los máximos de las curvas de emitancia del cuerpo negro se desplazan hacia las longitudes de onda más cortas. La máxima emitancia espectral del Sol se produce en los 0,48 micrones, coincidente con el color verde del espectro visible. El Sol presenta una elevada emitancia entre los 0,3 y 2 micrones, cuyos valores fluctúan en dependencia del efecto que provoca la atmósfera. Esta ancha banda es a la que se le denomina **dominio óptico del espectro electromagnético** y es la que constituye la región de mayor interés para la percepción remota de la superficie de la Tierra.

2.2.5 Interacción de la radiación del espectro óptico con la superficie terrestre

La radiación solar incidente sufre los siguientes cambios al llegar a la superficie terrestre (Figura 2.16).

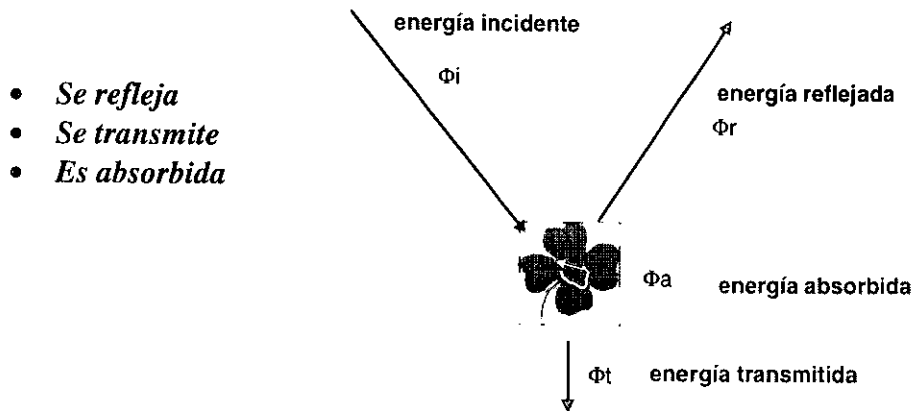


Figura 2.16 Esquema que explica la forma en que la energía es captada, absorbida y reflejada por la cubierta vegetal donde:

ϕ_i flujo de energía incidente

ϕ_r flujo de energía reflejada

ϕ_t flujo de energía transmitida

ϕ_a flujo de energía absorbida

$$\phi_i = \phi_r + \phi_t + \phi_a$$

$$\phi_r / \phi_i = \rho \Rightarrow \text{reflectividad}$$

$$\phi_a / \phi_i = \alpha \Rightarrow \text{absortividad}$$

$$\phi_t / \phi_i = \tau \Rightarrow \text{transmisividad}$$

$$\phi_i / \phi_i = \phi_r / \phi_i + \phi_a / \phi_i + \phi_t / \phi_i$$

$$\text{Por lo tanto: } 1 = \rho_\lambda + \alpha_\lambda + \tau_\lambda$$

La proporción del flujo incidente que es reflejado, absorbido y transmitido depende de las características de la superficie que se observa y de su estado físico, entre otros factores. Esta proporción varía para distintas longitudes de onda (diferentes bandas del espectro). Osea, cada cubierta refleja la radiación incidente de forma distinta para cada longitud de onda. En el caso del espectro visible, las diferencias de absorción, transmitancia y reflectancia de los objetos a distintas longitudes de onda se manifiesta en lo que llamamos **color**: un objeto es verde porque refleja de forma muy intensa en esa banda (0,48 micrones) la energía incidente y poco en el resto.

2.2.6 Firma espectral

Mediante un instrumento denominado espectrómetro es posible medir el coeficiente de reflectancia espectral (r_λ) de las distintas cubiertas terrestres; o sea, la Reflectividad de las mismas para cada longitud de onda en la que mide este equipo. Con estos valores se pueden

construir las denominadas Curvas de Reflectancia Espectral, a las cuales se les conoce como **Firmas espectrales** de las cubiertas terrestres (Figura 2.17).

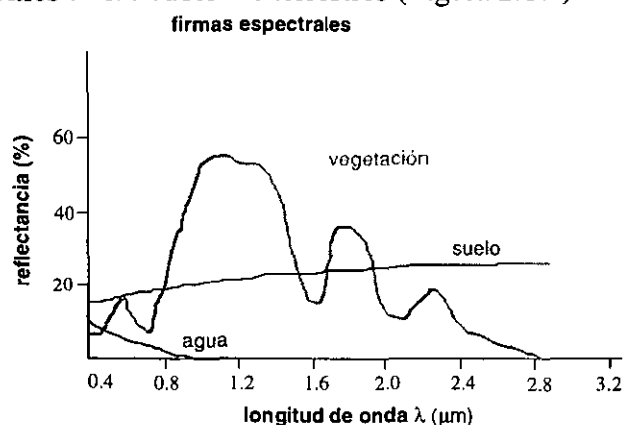


Figura 2.17 Firmas espectrales de las tres principales cubiertas terrestres como son :la vegetación, el suelo y el agua. Esquema tomado de: Notas de clase en el III Diplomado en PR y SIG, 1998.

2.2.7 Factores que intervienen en la respuesta espectral de los vegetales

- a nivel hoja (posición, color, contenido de agua, enfermedades, edad)
- a nivel planta (número de capas, altura, geometría de la corona)
- a nivel geometría de la cubierta vegetal (densidad, asociaciones, fenología)
- a nivel sensor del satélite (parámetros)
- a nivel iluminación (ángulo de elevación solar, datos meteorológicos)
- a nivel de la toma (ángulo, altura)
- a nivel ambiental (geología, topografía, suelos, efecto de borde)

**Tomado de Notas de clase en el III Diplomado en PR y SIG, 1998.*

Los factores que pueden influir en las características de la reflectancia de los cuerpos; o sea, que pueden provocar modificaciones de su comportamiento espectral teórico, son:

- **Capacidad reflectiva de la superficie**
- **Condiciones atmosféricas**
- **Estado ambiental de la cubierta (grado de humedad, por ejemplo)**
- **Geometría de la observación**
- **Otros factores**

Las características de la radiación que es reflejada por las cubiertas terrestres depende del ángulo de reflexión; o sea, del ángulo en el que la superficie refleje la energía incidente, lo cual está relacionado con la topografía o rugosidad de la cubierta. De acuerdo a la forma en que reflejen la luz solar incidente, las cubiertas o superficies se clasifican fundamentalmente en **especulares y lambertianas o difusas** (Figura 2.18). Las primeras reflejan la radiación con el mismo ángulo del flujo de radiación incidente, y las segundas, lo reflejan uniformemente en todas las direcciones, aunque en la realidad la mayor parte de las cubiertas poseen características de reflexión intermedias (Chuvieco, E., 1990).

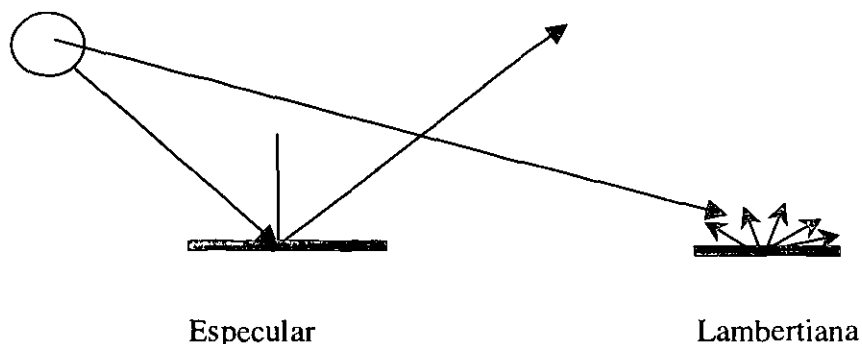


Figura 2.18 Tipos de cubiertas presentes en la superficie terrestre

Se debe tener en cuenta que: la reflexión de la radiación es función de las características de la superficie y depende de la longitud de onda: mientras más pequeña es esta última, las rugosidades del terreno tenderán a difundir mucho más la energía incidente que si se trata de longitudes de onda mayores. Todos estos factores y otros no mencionados provocan que las denominadas firmas espectrales teóricas o de laboratorio no sean exactamente las que se observan en la realidad y, por lo tanto, se deben manejar con este criterio al tratar de discriminar mediante las mismas una cubierta dada con relación a otras.

2.2.8 Landsat Thematic Mapper (TM)

Tal como su antecesor, el MSS, es un sensor de barrido multispectral, avanzado, concebido para proporcionar una resolución espacial más fina, mejor discriminación espectral entre los objetos de la superficie terrestre, mayor fidelidad geométrica y mayor precisión radiométrica en relación al sensor MSS. Opera simultáneamente en siete bandas espectrales siendo tres en el visible, una en el infrarrojo próximo, dos en el infrarrojo medio y una en el infrarrojo termal (Cuadro 2). Tiene una resolución espacial de 30 metros en las bandas del visible e infrarrojo reflejado y 120 metros en la banda del infrarrojo termal. La escena terrestre registrada por este sensor es también de 185 Km.

* Tomado de: <http://www.ltid.inpe.br/selper/image/espanhol/landsat5.html>

BANDAS	FAJA ESPECTRAL (um)	APLICACIONES
1	0,45-0,52(azul)	mapeamiento de aguas costeras diferenciación entre suelo y vegetación diferenciación entre vegetación conífera y decidua
2	0,52-0,60(verde)	mapeamiento de vegetación calidad de agua
3	0,63-0,90(rojo)	absorción de la clorofila diferenciación de especies vegetales áreas urbanas, uso del suelo agricultura calidad de agua

4	0,76-0,90(infrarrojo próximo)	delineamiento de cuerpos de agua mapeamiento geomorfológico mapeamiento geológico áreas de incendios áreas húmedas agricultura vegetación
5	1,55-1,75(infrarrojo termal)	uso del suelo medidas de humedad de la vegetación diferenciación entre nubes y nieve agricultura vegetación
6	10,40-12,50(infrarrojo termal)	mapeamiento de stress térmico en plantas corrientes marinas propiedades termales del suelo otros mapeamientos térmicos u otros
7	2,08-2,35(infrarrojo medio)	identificación de minerales mapeamiento hidrotermal

Cuadro 2. Presenta las 7 bandas del sensor Landsat TM y sus características.

Tomado de: <http://www.ltid.inpe.br/selper/image/espanhol/landsat5.html>

Todos los satélites Landsat tienen una órbita casi polar con 9 grados de inclinación y pasan a 8 grados de los polos. Son heliosíncronos (pasan en el mismo lugar a la misma hora). Los Landsat 1 y 3 describían 14 órbitas por día y después de 252 órbitas (18 días) regresaban en el mismo lugar. Los Landsat 4 y 5, desde 705 km. de altura, regresan sobre la misma área después de 16 días. Para cubrir la Tierra (excepto las regiones polares) se requieren de aproximadamente 11000 escenas.

2.2.9 Compuestos de color

Las computadoras crean imágenes en color a partir de tres colores básicos: el rojo, el verde y el azul. Es posible atribuir a cada color el valor registrado en las bandas espectrales. Por ejemplo en un compuesto en colores reales se atribuye al azul el valor medido por el sensor en la banda azul, al verde el valor medido en la banda del verde y al rojo el valor de la banda del rojo. Para cada píxel se recrea así el color original que había sido descompuesto por el sensor del satélite. En el caso que se quiera crear compuestos de color con las bandas del espectro que no son bandas del visible, sino del IR cercano, mediano o térmico, se necesita atribuirles colores “no reales”. Se obtienen así los compuestos en falso color por ejemplo poniendo en el azul la banda del verde, en el verde la banda del rojo y en el rojo la banda del IR cercano. En este caso la vegetación aparece de color rojo, por su alta reflectancia en esta banda particular.

2.2.10 Procesamiento de las imágenes digitales de percepción remota

Las imágenes de satélite tienen un formato raster y se procesan con programas de cómputo de procesamiento de imágenes. Cada imagen es compuesta por varias bandas espectrales, esto es sub-imágenes todas de la misma zona, con el mismo número de líneas y de columnas, y por lo tanto el mismo número de píxeles.

2.2.11 Clasificación no supervisada

Los objetos presentes en las imágenes pueden ser agrupados en clases de varios temas. Los temas más comunes son el uso del suelo y vegetación, geología, edafología etc. Cada clase se caracteriza por un valor promedio y una desviación estándar en cada banda espectral. En la clasificación no supervisada la computadora determina automáticamente (con un algoritmo de medias migratorias) las clases con base en parámetros definidos por el usuario, como el número de clases, el tamaño mínimo, la distancia mínima entre centroides etc. Luego el interprete tiene que etiquetar las clases atribuyendo a unidades cartográficas con base en los valores promedios en cada banda espectral, la forma de los objetos y su posición y utilizando cartografía existente y recorridos de campo. Una vez definidas las clases la máquina clasifica toda la imagen con un algoritmo bayesiano de máxima verosimilitud u otros algoritmos de clasificación

2.2.12 Clasificación supervisada

En la clasificación supervisada el interprete delimita polígonos sobre la imagen que contienen áreas representativas de las clases de cobertura que quiere separar, denominadas campos de entrenamiento. Para esto puede basarse en recorridos de campo, cartografía existente o en su propia experiencia de fotointerprete. El programa calcula por cada banda el promedio y la desviación estándar de los píxeles de cada campo. Luego los otros píxeles se clasifican con un algoritmo bayesiano de máxima verosimilitud.

2.3 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Varias actividades relacionadas con el medio ambiente necesitan de un análisis espacial de datos geográficos que provienen de varias fuentes (mapas, imágenes de satélite, fotos aéreas) con diferentes formatos, escalas, simbología y sistemas de coordenadas. Este análisis espacial es fundamental en la toma de decisiones. El manejo de esta información puede resultar difícil y laborioso, la solución es utilizar las computadoras para facilitar el manejo de los datos espaciales además de tener una base de datos espacial en la cual se puedan almacenar los rasgos espaciales y sus atributos en un único sistema de coordenadas y tener un manejador de la base de datos espaciales de esta manera, se puedan aplicar a los datos espaciales algoritmos de análisis espacial para obtener resultados en forma de nuevos datos espaciales, de gráficas o de tablas además de imprimir los datos espaciales con calidad cartográfica y emitir reportes para apoyar la toma de decisiones.

2.3.1 Definición de SIG

Un SIG es una cadena informativa automatizada que cumple con las funciones básicas de almacenar, analizar y cartografiar la información geográfica a diferentes niveles de diálogo y escalas. Rhind (1991), la define como un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, el manejo, la manipulación, el análisis, el despliegue de

datos espacialmente georreferenciados para la solución de complejos problemas de manejo y planeación territorial.

2.3.2 Componentes de un SIG y tipos de datos

Los componentes principales de un SIG son los **datos**, el **personal**, el **Software** y el **Hardware**. Sus funciones principales están condicionadas por dos factores:

- a) La fuente de la información de donde procedan los datos
- b) Tipo de estructura que tengan las bases de datos

Los datos con los que trabaja un SIG son de tipo espacial y son definidos como entidades definidas por su ubicación geográfica y sus atributos descriptivos. Estas entidades pueden ser puntos, líneas o áreas, como, por ejemplo, respectivamente estaciones meteorológicas, carreteras y cuerpos de agua. Por su estructura se clasifican en dos tipos tipo raster y datos tipo vector. (Comas D., *et al*, 1993). Figura 2.19

2.3.3 Datos Raster

Se obtiene al dividir el área de estudio en un conjunto de celdas, normalmente cuadradas. cada celda está asociada a un código que describe la entidad contenida en la celda, como tipo del uso de suelo, la elevación, el nombre del municipio. Cada celda tiene un valor y un atributo determinado. El tamaño de la celda se selecciona con base en la resolución necesaria o de acuerdo a la capacidad de memoria del sistema. Las coordenadas de cada celda están implícitas en el número de la línea y de la columna donde se encuentran.

2.3.4 Datos Vector

Utiliza una serie de coordenadas "x", "y" para describir entidades del tipo: punto, línea o área. La información se digitaliza y puede ser exportada a diferentes GIS, además la información sobre las conexiones y las relaciones entre las entidades de un mapa son calculadas y almacenadas, de esta manera el sistema puede deducir fácilmente relaciones como vecindad o conectividad.

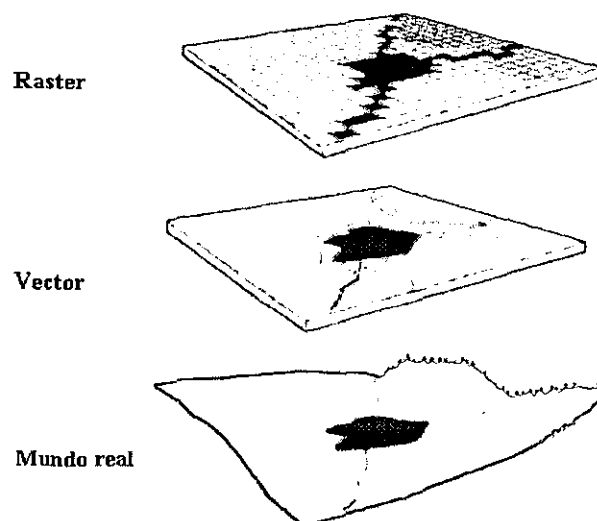


Figura 2.19 Representación del mundo real en formato raster y vector

Los datos espaciales se organizan en capas de información temáticas y por tipo de rasgos (Figura 2.20) por ejemplo:

Cobertura geología

Uso de Suelo, Delegaciones (polígonos)

Vialidad, Ríos (líneas)

Puntos de descarga (puntos)

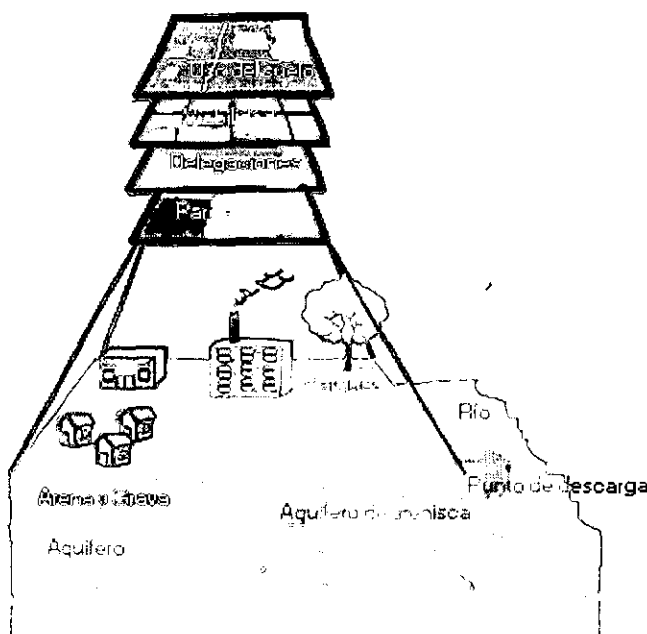


Figura 2.20 Representación esquemática de las capas de información geográfica de un área de estudio

2.3.5 Ventajas de un SIG

- Los datos están físicamente almacenados en forma compacta.
- El mantenimiento y recuperación de los datos pueden ser a costos más bajos.
- Los datos pueden ser recuperados rápidamente.
- Los datos espaciales y no espaciales pueden ser analizados simultáneamente en forma relacional.
- Los modelos conceptuales pueden ser probados (dentro del concepto espacial) rápidamente y repetidas veces facilitando su evaluación.
- La adquisición de datos, los análisis espaciales y los procesos de toma de decisiones son integrados en un contexto común de flujo de información.

2.3.6 Desventajas de un SIG

- Costos y problemas técnicos para convertir los datos analógicos en formato digital
- Necesidad de especialistas para mantener y actualizar datos en formato digital
- Alto costo de adquisición de equipos y programas

3. ANTECEDENTES

Desde la expedición de Smithsonian-Bredin, en 1960, en la que visitó el área de la reserva de la biosfera de Sian Ka án y hasta la fecha han sido reportadas 155 Clorophitas, 55 Paeophitas y 220 Rhodophytas. La flora bentónica ha sido descrita por Diez-Piffer (1969), las plantas marinas del caribe han sido estudiadas por Litter et-al (1990), las macroalgas del sistema laguna de Nichupete Quintana Roo fueron estudiadas por Collado-Vides y González-González (1993).

En lo que se refiere a bosques de mangle están las descripciones hechas por Granados D., et-al (1998), quien hace una descripción de los manglares de Quintana Roo.

Jhonson y Munday (1983), mencionan que varios autores han realizado estudios sobre la clasificación y mapeo de humedales, utilizando fotografías del Skylab e imágenes de satélite LANDSAT (MSS). Ortiz-Pérez (1995), hace uso de imágenes de satélite en la reserva al estudiar las estructuras tectónicas de hundimiento.

Numerosos estudios de la distribución y abundancia de manglares en diferentes partes del mundo se han realizado en base a fotografía aérea, pancromática e infrarroja (Roollet, 1994; Everitt y Judd, 1989), imágenes de satélite (Blasco, 1975;1984 1988b; Lanza *et al.*, 1993) y también con imágenes de video (Everitt *et al.*, 1991).

Blasco (1975 ; 1984) desarrolló varios estudios sobre la distribución y clasificación de las comunidades de manglar mediante el uso de imágenes de satélite del delta del Ganges en la región limítrofe entre la India y Bangladesh. Así mismo, Blasco *et al.*, (1991; 1992) describieron las asociaciones de especies que conforman estos manglares y demostraron la importancia que tiene la cubierta vegetal para aminorar los efectos de los tifones y huracanes que constantemente azotan la región.

Everitt y Judd (1989), realizaron un estudio, con fotografía infrarroja, de la distribución de manglar de *Avicennia germinans* en las costas del estado de Texas. También Everitt *et al.*, (1991) continuaron los estudios sobre el manglar para clasificar la vegetación utilizando teledetección videográfica. En estos dos estudios se obtuvieron resultados aceptables para clasificar la vegetación de manglar y poder distinguirla de otros tipos, así como poder cuantificar su crecimiento y estado fenológico.

En México, Roollet (1997a, b, c,), realizó un extenso estudio sobre los manglares , utilizando para ello fotografía aérea pancromática y de color, en diversas lagunas costeras del pacífico y del Golfo de México.

Un ejemplo más específico de la evaluación y clasificación de áreas de manglar, por medio de imágenes de satélite, es el efectuado por Lanza de la, *et al.*, (1993) para la Laguna de Términos, Campeche, quien hace una clasificación para diferentes asociaciones de manglar calculando indirectamente las áreas ocupadas por las diferentes asociaciones.

Ramírez-García *et-al*, (1993), evalúa la comunidad de mangle en la desembocadura del río Nayarit, utilizando fotografía aérea e imágenes de satélite LANDSAT-TM y Rodríguez Teresa (2000), utiliza Percepción Remota para evaluar la deforestación de los manglares de Celestum.

Todos estos trabajos demuestran las posibilidades que brinda la percepción remota en el estudio que nos ocupa.

4. JUSTIFICACIÓN

Los manglares están desapareciendo a una velocidad vertiginosa por la sobreexplotación de sus recursos. Un ejemplo lo encontramos en la costa occidental de África, donde se han convertido en arrozales, mientras que otros fueron diezmados por leñadores y madereros, con objeto de proporcionar materia prima en la industria papelera, para la fabricación de taninos, carbón de leña, para tintes, así como conservantes de las redes de pesca. En Arabia, por ejemplo, de los manglares se extraen valiosas maderas para la construcción principalmente de la especie *Rhizophora mangle*.

http://uicnhumedales.org/boletin/archivo/no1/articulo_fondo.htm

Se estima que en 1980 había 17 millones de hectáreas de manglar en las costas tropicales del mundo. Según la FAO, el 50% de estos bosques han desaparecido. Las causas de su destrucción son múltiples y variadas (salinas, extracciones para madereras, papeleras, carboneo, infraestructuras, construcción, y otros usos diversos) pero, en estos momentos, la mayor amenaza la constituye la instalación de la industria camaronera, que cría en estas zonas langostinos tropicales que luego se exportarán a los países ricos. La tala de extensas áreas de manglar para el desarrollo de la acuicultura, y especialmente las instalaciones de piscinas de cría de langostinos, es el primer gran impacto de esta industria. Ya han desaparecido más de un millón de hectáreas de manglar en el mundo a causa de esta actividad, de estas, unas 765.000 ha. han sido en los últimos años. Con la desaparición de estas zonas, los ecosistemas marinos pierden su equilibrio y disminuye la cantidad y diversidad de peces, ya que las áreas de cría y alevinaje son destruidas. En las zonas afectadas, con la destrucción física de estos ecosistemas, los problemas no hacen más que empezar ya que, por ejemplo, tan solo en la cría de grandes cantidades de langostino tropical se emplean grandes cantidades de productos químicos (alimento, fertilizantes, plaguicidas, antibióticos...), que dan lugar a un caldo tóxico que contamina los recursos hídricos locales, produciendo incluso su eutrofización e hipernitrificación.

<http://escenarios.com/natura/manglares.htm>

Hoy en día, las zonas costeras albergan alrededor de dos tercios de la población mundial. Es conocido que los asentamientos humanos situados en estos territorios tienen una elevada densidad poblacional, constituyendo un factor creciente de presión ambiental que se manifiesta en la explotación excesiva de los recursos naturales y en la creciente contaminación y degradación del entorno, que abarca un amplio abanico de factores, desde residuos y desechos industriales, domésticos y agrícolas hasta los provocados por la deforestación y el desarrollo turístico (Alvarez Portal, R., 1996).

La introducción de las tecnologías y métodos de punta, representados por la percepción remota (**PR**), los sistemas de posicionamiento global (**GPS**), los sistemas de información geográfica (**SIG**), y la fotogrametría digital (**FD**), ha significado una excelente alternativa para lograr un mayor conocimiento de las zonas costeras y marinas, que en muchos casos resultan ser territorios de difícil acceso donde se observan variaciones espacio-temporales de gran importancia en sus distintos geosistemas. Las ventajas y posibilidades que brinda la utilización combinada de estas tecnologías en las investigaciones, son superiores

5. OBJETIVOS

General:

1. Mediante métodos de Percepción Remota, evaluar la extensión y localización del manglar en el área de estudio de la reserva, en la fecha de adquisición de la imagen.

Específicos:

2. Cruzar la información obtenida del procesamiento digital de la imagen, con la capturada de las diferentes fuentes de adquisición de los datos como son: mapas de INEGI , CIQRO y Gob. del estado de Q. Roo, e información digital del Inventario Nacional Forestal y la CONABIO.
3. Identificar los posibles cambios en su cobertura forestal ocurridos en el tiempo evaluándolos en las diferentes fechas de adquisición de los datos; es decir de 1981 a 1993.
4. Generar un espaciograma con la imagen, que contenga los polígonos obtenidos del manglar.

6. AREA DE ESTUDIO

6.1 Localización

De acuerdo con el diccionario Maya Cordeles, Sian Ka'an significa hechizo o regalo del cielo. La reserva se encuentra ubicada en el litoral del estado Mexicano de Quintana Roo, entre las coordenadas extremas 19 ° 05' 00'', 20 ° 07' 00'' latitud norte y 87 ° 22' 00'', 88 ° 02' 00'' longitud oeste (Figura 6.1). Tiene una superficie aproximada de 528,147 ha. En ella se establecieron tres zonas núcleo: Muyil con una superficie de 33, 148 ha; Cayo Culebras con 6, 105 ha y Uaimil con 240, 180 ha. Por la parte oeste de la reserva pasa la carretera federal Cancún –Tulum, caminos de terracería y canales prehispánicos que desembocan al mar.

6.2 Antecedentes legales

El proceso de delimitación y establecimiento de la reserva se inicio en 1982, con un proyecto del centro de investigación de Quintana Roo (CIQRO) y el apoyo de CONACYT. El 20 de enero de 1986 fue decretada reserva de la biosfera por el presidente Miguel de la Madrid Hurtado. Forma parte de la red internacional del programa MAB de UNESCO de ese mismo año. Toda la reserva está designada como Sitio de Patrimonio Mundial, por la convención del patrimonio mundial, auspiciada por la UNESCO. El 99% de los terrenos son propiedad de la Nación y el 1% es privado.

6.3 Uso del suelo

El uso del suelo en la reserva esta estructurado de la siguiente manera: Turismo, explotación forestal, ganadería y agricultura, aunque las tres ultimas son actividades secundarias(INE, 1993). En la zona de influencia el uso del suelo es de la siguiente manera: Agricultura, ganadería, pesca, turismo y aprovechamiento forestal.

6.4 Descripción del área protegida

6.4.1 Fisiografía

La reserva se encuentra dentro de la unidad orogénica Plataforma Yucateca, caracterizada por ser bastante plana, con una suave e imperceptible inclinación de sur a norte y sin elevaciones importantes. De belleza sin par , la barrera arrecife de Sian Ka'an , con 110 Km. de longitud forma parte del segundo arrecife más largo del mundo; alberga gran cantidad de especies marinas, algunas de importancia económica. Se ubica en el limite oriental de la reserva, en el área de amortiguamiento sobre la isobata de los 50 metros. La reserva de la biosfera de Sian Ka'an cuenta con diversos ambientes marinos representativos de las costas de Quintana Roo, incluyendo : Playas arenosas , Manglares, Bahías someras, Playas rocosas, Marismas y Arrecifes con alta diversidad de especies.

6.4.2 Clima

El clima de la reserva es del tipo Cálido Subhmedo con lluvias en verano. La precipitación anual, fluctúa entre 1100 y 1200 mm ; 70% de días lluviosos ocurren entre los meses de mayo a octubre y el restante durante el periodo de sequía. El clima presenta dos variantes :



Figura 6.1 MAPA GENERAL DE UBICACIÓN DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE SIAN KA ÁN LA CUAL ESTA EN TONO MAS OSCURO

ESCALA 1: 1 000 000 ESTADO DE QUINTANA ROO

el clima Aw2(x') que es el más húmedo, se localiza al norte; y el clima Aw (x') que es más seco, al sur. Se presenta un periodo de ciclones de junio a noviembre (INE, 1993).

6.4.3 Hidrología

Sian Ka'an se ubica en un área plana y poco elevada sobre el nivel del mar, por lo cual aun los pequeños cambios topográficos tienen mucha importancia en la configuración del paisaje (INE, 1993). No existen ríos; el agua que recibe el suelo se filtra rápidamente y de la misma manera sale hacia el mar; en las partes bajas pueden aflorar algunas lagunas someras o zonas de inundación durante la época de lluvias. Durante esta época la mayor parte de la porción terrestre de la Reserva se inunda (INE, 1992).

6.4.4 Suelos

La reserva se sitúa sobre un subsuelo calcáreo con suelos poco profundos en las partes elevadas y con el manto freático muy cerca de la superficie (hasta 8m). Las variaciones edáficas y topográficas ocasionan diferencias en los periodos de inundación, que junto con la salinidad, determinan en gran medida el tipo de vegetación que se establece en cada sitio. De acuerdo con el INEGI (1988) y la FAO-UNESCO (1989), en la reserva se observan cuatro unidades de suelos: a) Gleysol mólico en la parte central y centro sur, b) Litosol en la porción sudoeste y en las zonas costeras del centro y del sur, c) Rendzina, aproximadamente a 7 Km. al sur de la Laguna Chunyaxche en la porción norte y d) Solonchak órtico, caracterizado por presentar un alto contenido de sales en algunas partes.

6.4.5 Vegetación y flora

De acuerdo con Rzedowski (1983), el área que comprende Sian Ka'an se localiza en la provincia Península de Yucatán de la región caribe, en el reino neotropical. En cuanto a la riqueza florística, Olmsted y Durán (1983) registraron un total de 859 especies, de las 1,970 reportadas para Yucatán.

Selva mediana subperenifolia.

Es la más abundante de la Reserva, las especies más importantes son: *Brosimum alicastrum*, *Manilkara zapota* y *Talisia olivaeformis* como emergentes y *Nectandra coriacea* y *Drypetes sp.* en el dorsel más bajo, así como la palma chit (*Thrinax radiata*).

Selva mediana subcaducifolia.

Tiene una extensión aproximadamente de 12 000 ha. En la selva subcaducifolia se presentan las palmas nakax (*Coccothrinax readii*) y la palma kuka (*Pseudophoenix sargentii*); además dominan chaca (*Bursera simaruba*), *Caesalpinia gaumeri* y chechén (*Metopium brownei*). En los tipos de vegetación anterior se han encontrado 230 especies de árboles y arbustos de las cuales 14% son endémicas de la península y solo el 10% tiene afinidad con las islas del Caribe.

Selva baja inundable

Se establece sobre marga y/o roca calcárea en depresiones, distribuida en forma de mosaico de parches pequeños dentro de la selva subperenifolia. Para estas comunidades se citan 110 especies; se distingue por su gran abundancia de epifitas, especialmente orquídeas

y bromelias. Especies importantes: *Erythroxylum sp.*, *Randia oculeata*, *Byrsonoma bucidaefolia*, *Malpighia lundellii*, *Cameraria latifolia*, *Eugenia buxifolia* y *Coccoloba floribunda*, además de *Dalbergia glaba*, *Bucida spinosa*, *Haematoxylum campechianum* y *Bucida buceras*, que son especies que dominan cada una por separado en distintas comunidades.

Humedales

En Sian Ka'an ocupan grandes extensiones. En ellos se encuentran comunidades distintas dominadas por *Typha dominguensis*, *Cladium jamaicense*, *Phragmites australis*, *Echinodorus andrieuxii* y otras especies.

Manglar chaparro

Además de *Rhisophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia recemosa* y *Conacarpus erectus* se encuentran también *Cladium jamaicense* y *Elaecharis cellulosa*.

Manglar de franja

Este pantano forma una franja a todo lo largo de la costa de Sian Ka'an y alcanza alturas de hasta 12 m. Los manglares *Rhisophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia recemosa* aquí alcanzan mayor tamaño. En áreas más elevadas se encuentra *Conacarpus erectus*.

Tasistal

Es un pantano de palmas que alcanzan alturas de 4 a 6 m; ocasionalmente forma manchones pequeños y más comúnmente a todo lo largo de la costa. Es una comunidad poco diversa en donde la palma tasiste (*Acoellorraphe wrightii*) es la especie dominante del estrato arbóreo y *Cladium Jamaicense* del herbáceo.

Dunas

La vegetación de éstas presenta afinidades con la de las islas antillanas, por lo que son diferentes a las del resto del país; se registran 15 grupos de comunidades entre las que destacan, en zonas pioneras, *Sesuvium*, *Ambrosia-Hymenocallis*, y en la comunidad de matorral *Coccoloba-Thrinax*.

Petenes

Nos presentan como un tipo estricto de vegetación, si no como formaciones muy peculiares, los de mayor extensión presentan un cenote en el centro. Existen dos tipos: uno sobre roca calcárea que casi no se inunda, y otro sobre marga o turba inundable; los primeros presentan vegetación de selva, y los otros de manglar o una asociación de selva-manglar.

Vegetación secundaria

La práctica del sistema rosa-tumba-quema, sumada al efecto de los ciclones, da lugar a la existencia de varios estados serales.

Respecto a la flora marina, se encuentra bien representada en la reserva la correspondiente al caribe mexicano. Los principales hábitats son las franjas rocosas expuestas, las zonas calcáreas con sustrato duro y las praderas de pastos marinos en las márgenes de las bocas de

las bahías. Esas comunidades son refugio y alimento para una gran cantidad de animales, principalmente invertebrados y pequeños peces, entre los que se cuentan especies de importancia económica y comercial, como la langosta espinosa *Palinurus argus*, cuyos juveniles buscan refugio entre las algas frondosas.

Se desconoce aún, en su mayor parte, las formas dulceacuícolas de los cuerpos de agua epicontinentales de la reserva (lagunas y cenotes).

6.4.6 Fauna

La reserva protege un número de especies animales, gracias a los tipos de vegetación presentes y las condiciones fisiográficas, que permiten la existencia de pantanos, lagunas, lagunas costeras y ambientes marinos. La alta incidencia de endémicos sugiere que esta porción de la península es un distrito biogeográfico diferente al de las llanuras mesoamericanas adyacentes, Veracruz-Tabasco y El Petén Guatemalteco.

6.4.6.1 Avifauna

Se han registrado hasta el momento 326 especies de las que 219 son residentes, 65 migratorias invernantes, 20 migratorias transeúntes y 22 transeúntes. Es además un corredor migratoria hacia centro y Sudamérica (Lopez-Ornat, A., 1990). Las poblaciones de aves zancudas de la reserva incluyen 21 de las 23 especies de México, Sian Ka'an es el segundo lugar en México de reproducción de algunas de las especies mas amenazadas de este orden como son el jabirú, la cigüeña americana, el ibis blanco y la garza melnuda, y el primer lugar para el garzón albo. Es la primera localidad citada en México para el ibis oscuro y también reúne algunos flamencos en el invierno. En esta reserva se encuentra una enorme riqueza de especies de aves, contándose entre ellas a la cigüeña jabiruú (*Jabirú mycteria*) que anida en la reserva, la paloma cabeciblanca (*Columba leucocephala*), el hocofaisán (*Crax rubra*) y el pavo ocelado (*Agriocharis ocellata*). Alberga especies únicas de la Península de Yucatán, tales como el mencionado pavo ocelado, la troglodita yucateca (*Thryothorus albinucha*), la chara yucateca (*Cyanocorax yucatanica*) y el mímido negro (*Meanoclyta glavrirostris*).

6.4.6.2 Herpetofauna.

Sian Ka'an es el área protegida con mayor extensión de hábitat de cocodrilo en el país. Con más de 300 000 ha de ambientes acuáticos, sustenta una de las poblaciones mejor conservada de *Cocodylus moreletti*, que coexiste con *C. acutus* (Lazcano-Barrero 1990).

6.4.6.3 Mastofauna

Se tiene una lista preliminar de 96 especies de mamíferos entre los que destacan 39 murciélagos, dos delfines y cuatro ballenas (INE, 1993).

6.5 Amenazas

- El turismo que llega al área es todavía escaso, pero el potencial de que aumente es grande y de no ser adecuadamente controlado, puede constituirse en una fuente de perturbación (INE, 1993).
- En la franja costera se han introducido especies vegetales exóticas como la casuarina.

6.6 Observaciones

La reserva contiene humedales prioritarios ,designados por la North American Wetlands Conservation Council. La reserva no ha sido deslindada en el campo ni amojonada; los servicios ,materiales, el equipo y la infraestructura, así como los recursos humanos asignados al área son insuficientes en número y capacitación (INE,1993).

Se propone crear nuevas zonas núcleo puesto que la zonificación basada en la porción terrestre de la reserva coloca casi 98% de la superficie marina dentro de la zona de amortiguamiento .Esta situación es grave pues protege solo 7.5% de la parte marina no incluyendo a ambientes arrecifales. Las zonas núcleo propuestas son: a) Xamach; b) Mox Kanab Oggi y c) Tantaman.Estas zonas propuestas protegen áreas que cubren muestras completas de ecosistemas inalterados que presentan un alto grado de desarrollo arrecifal y una alta diversidad ;además pueden ser sitios críticos para algunas especies y funcionar como un lugar para investigación y seguimiento en condiciones de bajo impacto humano directo (INE,1993).La zona núcleo Cayo Culebras presentan afluencia turística elevada, tránsito intenso de lanchas, y uso intensivo por parte de los pescadores de langosta.

Para proteger la cuenca alta de la bahía de Espíritu Santo, en Noviembre de 1994 se decreto el área de protección de flora y fauna Uaymil, con más de 89,000 ha.

6.7 Aspectos Socioeconómicos

La reserva tenía en 1990 aproximadamente 1800 habitantes, distribuidos principalmente en el litoral donde existe la mayor parte de los ranchos. Entre los pueblos y asentamientos humanos se encuentran: Punta Allen, Punta Herrero y Javier Rojo Gómez. Punta Allen es la única población con servicios de alcantarillado y agua potable, que se extrae de pozos someros; Los pescadores son el único sector organizado. Hay cinco cooperativas pesqueras que operan en la zona, aunque sólo dos están asentadas en la reserva. La pesca constituye la actividad económica más importante; las especies más capturadas son: La langosta espinosa (*palinurus argus*), tiburón gata, martillo, tintorera, el guachinango, la palometa, el sábalo, el mero, la cherna y el boquinete.

El turismo es aún reducido; por ejemplo, entre 1990 y 1991 acudieron 642 personas (Bezauri, 1991). Los servicios que proporciona la asociación Amigos de Sian Ka'an y algunos lugareños son: pesca deportiva, transporte, hospedaje, alimentación, mantenimiento y cuidado de equipo, e información.

7. METODO

7.1 Selección del área de estudio

Por el conocimiento adquirido en las investigaciones del proyecto TelemarCaribe de trabajos anteriores en la reserva y de recorridos aéreos, terrestres y marítimos, se decidió apoyados en los mapas y las imágenes de satélite seleccionar la parte norte de la reserva como zona de estudio ya que cuenta con las características idóneas para el desarrollo del manglar, además de ser de fácil acceso a las zonas de muestreo contando con vías de comunicación tanto terrestres como acuáticas.

7.2 Recorte de la imagen de Satélite

A la imagen completa del satélite Landsat TM del 10 de Abril de 1993 de 8370 renglones y 8880 columnas con un tamaño de píxel de 30 metros y utilizando el software para procesamiento de imágenes GRASS, se le hizo un recorte para dejar solo el área de estudio seleccionada previamente, la cual quedo de la siguiente manera: 1043 líneas, 950 columnas, Proyección UTM zona 16, Tamaño de píxel de 30 m., escala 1: 200 000. La imagen resultante fue georreferenciada en Arc/Info, corregida y transformada en modulo Grid de Arc/info y aplicando un polinomio de transformación de segundo grado. Para esto fueron necesarios 20 puntos de control tomando como referencia los mapas topográficos digitalizados y puntos GPS tomados en campo con un GPS *Locus* de 8 canales, 4Mb de memoria antena integrada tipo microstrip y puerto de comunicación infrarrojo con una precisión de 5mm + 1ppm horizontal, 10 mm + 2 ppm vertical.

7.3 Digitalización

El proceso de digitalización se realizó mediante la tableta de la marca Sumagraphics-Summagrid,IV y con el SIG Arc-Info ver. 7.1.1 cargado en una computadora con procesador pentium III. Las cartas digitalizadas fueron las topográficas **F16C88**, correspondiente a Tulum y la **E16A18**, correspondiente a Punta Allen escala 1: 50 000 editadas por INEGI de 1984. Las cartas de Uso de Suelo y Vegetación **E16-2-5** correspondiente a Bahía de la Ascensión y la **F16-11** correspondiente a Cozumel escala 1:250 00 editadas por el INEGI en 1984. Así mismo la de uso de suelo editada por el CIQRO y Gobierno del estado de Roo, basada en fotografías aéreas de 1981 escala 1:250 000. Se corrigieron errores de la digitalización, se cerraron polígonos y se asociaron las bases de datos a cada polígono en el sistema de Información Geográfica Arc-Info versión 7.1.1 cargado en una estación de trabajo O2 de la marca Silicon Graphics.

7.4 Obtención de información digital

Por medio de una búsqueda exhaustiva de información en Internet, se obtuvo la información digital del mapa de Uso de Suelo y vegetación editada por INEGI de 1984 y corregida por la CONABIO para el caso específico del estado de Quintana Roo. Por convenios institucionales UAM-IG-UNAM se obtuvo la información digital del Inventario Nacional Forestal de 1994, hecho mediante el uso de imágenes LANDSAT TM de 1993.

7.5 Procesamiento de la Imagen

Al recorte de la imagen se le hizo el análisis de los componentes principales a fin adquirir bandas adyacentes con la mayor parte de la información original. Se tomaron en cuenta solo

los tres primeros componentes principales ya que estos son los significativos para su análisis. Con los componentes resultantes seleccionados se les hizo un análisis del gráfico de dispersión (Scaterplot), de los niveles digitales de los pixeles en el software *Tele-Map* (vers. 2.0) en el modulo *IMAGE*, para ver la correlación existente entre las bandas y determinar el compuesto a color RGB que nos diera la mayor información de la imagen escogiendo así las bandas que presentaron menor correlación ya que estas, fueron las que mayor información nos dieron de la escena. Al compuesto encontrado se le mejoró el contraste, se eliminaron ruidos y se resaltaron los bordes para diferenciar las clases espectrales presentes en la escena.

Una vez con el compuesto a color establecido, se le hizo una clasificación supervisada en la cual se determinaron 9 clases espectrales conocidas presentes en la escena con el fin de estimar la cobertura forestal del mangle en la imagen y su ubicación de manera georreferenciada de dichos elementos. La clasificación se hizo utilizando el software para las Geociencias *Tele-Map* y con el módulo *IMAGE* para procesamiento de imágenes.

7.6 Sobreposición y corte de la información digital

Tomando las cuatro coordenadas de cada esquina de la imagen LANDSAT-TM que abarca el área de estudio total de la reserva, se generó un polígono con el cual fue delimitada la información digital mediante un "corte", "Clip" o "ventana" de la imagen., de los mapas del INEGI, de la CONABIO, de la del Inventario Forestal y de la obtenida del mapa del uso de suelo y vegetación del CIQRO y Gob. del estado de Quintana Roo.

Con los resultados de las áreas obtenidas de la clasificación de la imagen, y de la digitalización de los mapas, se procedió a cruzar la información con la obtenida del inventario forestal, la del uso del suelo y vegetación del INEGI (corregido por la CONABIO), y la del uso del suelo y vegetación del CIQRO y Gob. del estado de Quintana Roo, lográndose de esta manera determinar los cambios en las diferentes épocas en la cual fue capturada dicha información. Para lo anterior, todos los datos fueron cargados en el Sistema de información geográfica Arc-View versión 3.1, donde se procedió a calcular las áreas de los polígonos obtenidos del mangle y se generó una base de datos georreferenciada de la zona, un espaciomapa digital de los polígonos de interés con la imagen procesada y por último un archivo de datos multitemporales procesados. La información fue integrada a una base de datos que está alimentando el SIG de toda la región dentro del Proyecto internacional TelemarCaribe.

7.7 Trabajo de campo

La información obtenida del procesamiento de la imagen fue corroborada en campo mediante el uso de un aparato de geoposicionamiento global (GPS) *Locus* de 8 canales, 4Mb de memoria, antena integrada tipo microstrip y puerto de comunicación infrarrojo con una precisión de 5mm + 1ppm horizontal, 10 mm + 2 ppm vertical. Se utilizó en un recorrido costeando la zona para lo cuál fue necesaria una salida a la estación biológica de Puerto Morelos en los meses de abril y mayo del año 2000, misma que tiene cercanía con la zona de estudio. Dentro de la zona se hicieron muestreos utilizando el método de transecto tipo Gentry 1982 hasta llegar a un total de 10 transectos. Los muestreos fueron hechos

seleccionando en la imagen los campos de entrenamiento donde se encontraban los manchones principales de manglar. Los parámetros poblacionales fueron: densidad, dominancia y frecuencia y se calcularon utilizando las formulas propuestas por Gentry et-al 1993. Finalmente se procedió al análisis de resultados.

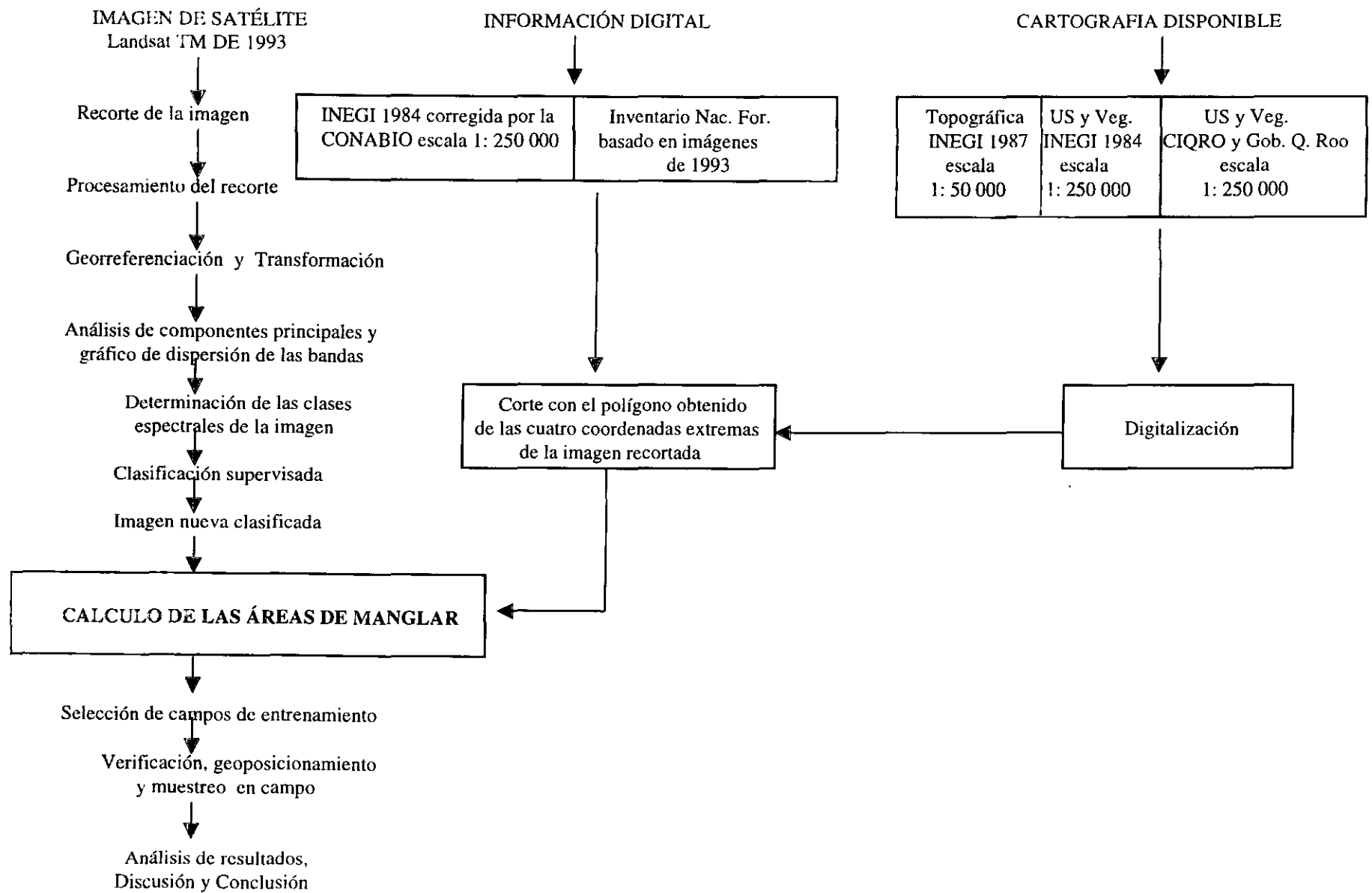


Diagrama de Flujo

8. RESULTADOS

El análisis de los Componentes principales de las 6 bandas espectrales, demostró que las bandas de los tres primeros Componentes explican el 98.148 % total de la varianza total de los datos (Tabla 8.1 y 8.2).

Tabla 8.1 Matriz de Componentes principales (CP) (eigvalores) y % de varianza

Componentes principales	B1	B2	B3	B4	B5	B7	Varianza %
CP1	0.204	0.666	0.624	-0.101	-0.147	-0.306	65.894%
CP2	-0.259	-0.441	0.099	-0.472	-0.424	-0.570	20.424%
CP3	-0.296	-0.421	0.750	0.179	0.313	0.209	11.830%
CP4	-0.139	0.158	0.037	-0.803	0.083	0.551	1.071%
CP5	0.116	-0.005	-0.110	-0.261	0.829	-0.468	0.539%
CP6	0.878	-0.401	0.157	0.149	-0.083	0.122	0.241%

Tabla 8.2 Matriz de covarianza de las seis bandas espectrales presentes en la imagen.

Bandas Espectrales	B1	B2	B3	B4	B5	B7
Banda1	142.373	335.568	139.717	15.722	-21.069	-50.627
Banda2	335.568	937.441	604.017	-31.505	-110.063	-245.424
Banda3	139.717	604.017	864.120	-94.145	-110.583	-314.176
Banda4	15.722	-31.505	-94.145	168.263	147.168	200.941
Banda5	-21.069	-110.063	-110.583	147.168	175.931	225.895
Banda7	-50.627	-245.424	-314.176	200.941	225.895	365.793

El gráfico de dispersión de los niveles digitales de los píxeles demostró que la banda 1, 4 y 5 son la que menor correlación presentaron por lo tanto las que mayor información nos proporcionaron de la escena, dando como resultado el compuesto a color RGB **4/5/1** (Fig.8.1), con el cual se hizo posteriormente el espaciograma de la zona (Fig. 8.1.1) . La banda 5 fue la que mayor varianza presentó con un valor de **719.35**, seguida de la banda 1 con un valor de **585.68** y por último la banda 4 con un valor de **405.45** (Tabla 8.3).

Tabla 8.3 Medidas de tendencia central en las bandas de la imagen.

Banda	Media	D.Estándar	Varianza
1	75.64	24.20	585.68
2	33.99	18.54	343.82
3	30.84	18.95	359.12
4	67.79	20.13	405.42
5	65.40	26.82	719.36
7	23.29	14.53	211.16

Con las bandas espectrales de los tres primeros componentes principales y utilizando el compuesto a color previamente encontrado (**4/5/1**), se realizó el muestreo de los píxeles, obteniendo un total de **9 clase** espectrales presentes en la imagen. Se realizó una clasificación supervisada obteniendo una nueva imagen de la zona que separó las clases definidas (Fig. 8.2).

Se logró clasificar un total de **94.14 %** de la imagen, equivalente a **1,403,700** píxeles del total de la imagen, quedando sin clasificar solo el **5.86 %** por lo que se considera una clasificación óptima.

La suma total de las áreas clasificadas como manglar en la imagen proporcionaron un total de **16,004.07 ha.** (Tabla 8.4).

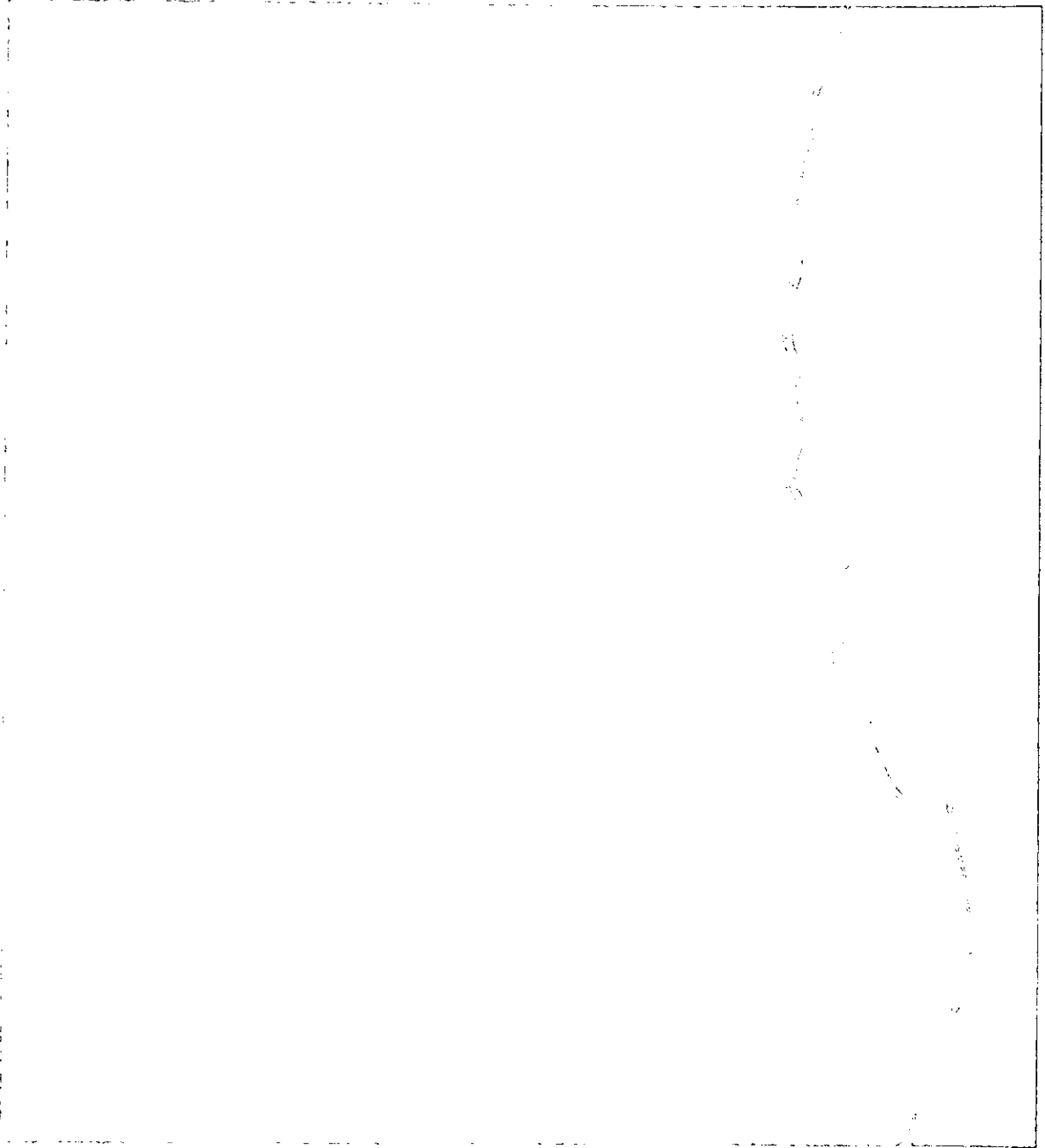
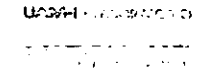


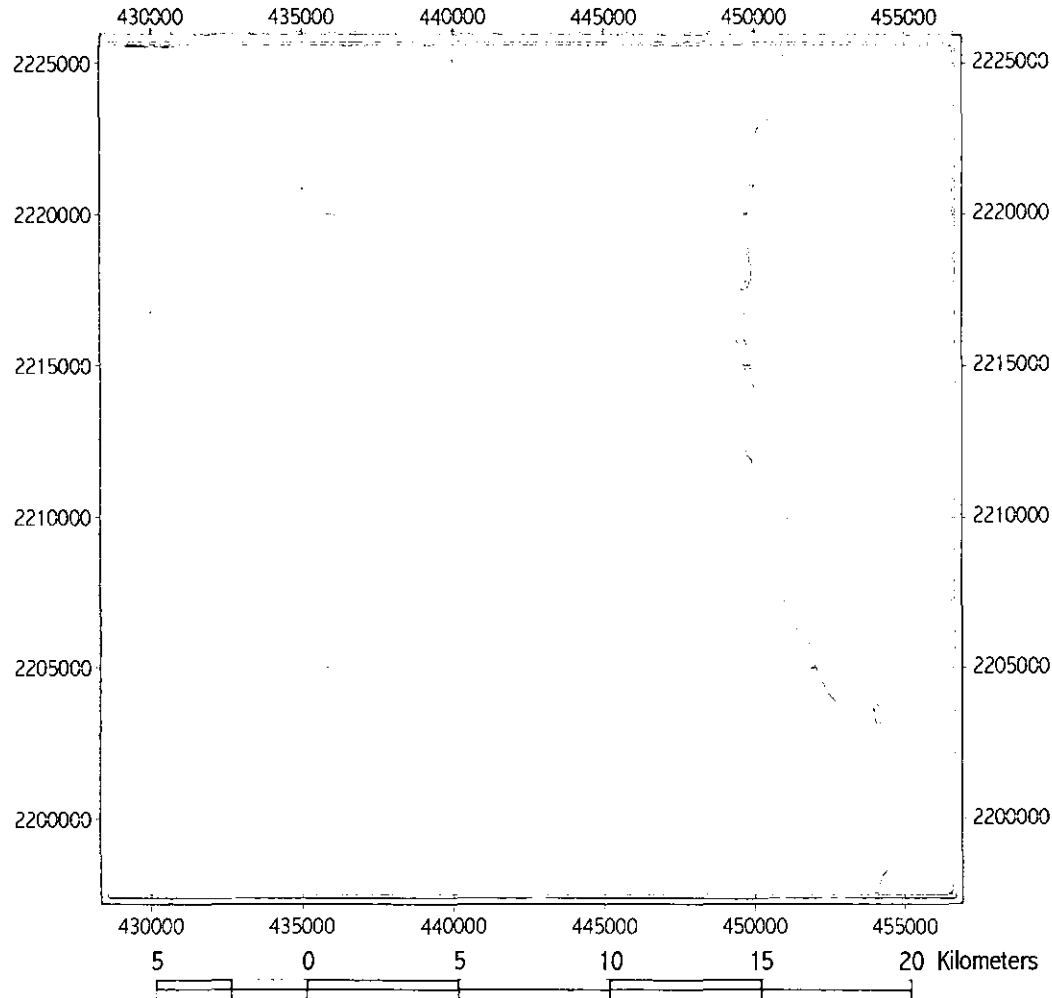
Figura 8.1. *Compuesto a color RGB 4 / 5 / 1, obtenido mediante en análisis de bandas. En esta imagen se hizo el muestreo de pixeles para realizar el análisis de la clasificación supervisada.*



ESPACIOMAPA DEL AREA DE ESTUDIO Sian Ka'an



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS



INFORMACION GENERAL

Los espaciomas se producen a partir de imágenes digitales del sensor TM
El compuesto representado en el son las bandas 451
El elemento mínimo de la imagen (pixel) es de 30 x 30 m

Las imágenes fueron adquiridas del Instituto de Geografía de la UNAM
FECHA DE LAS IMAGENES: 1993

Rasgos geográficos sobresalientes



Manglar Chaparro denso



Manglar de Franja



Manglar Chaparro disperso



ELIPSOIDE _____ CLARKE DE 1866
PROYECCION _____ TRANSVERSA DE MERCATOR
CUADRICULA _____ CADA 5000m
DATUM _____ NAD27
INFORMACION GEOREFERENCIADA RECTIFICADA
EN CAMPO

Fig. 8.1.1 Espaciomapa de la zona de Estudio

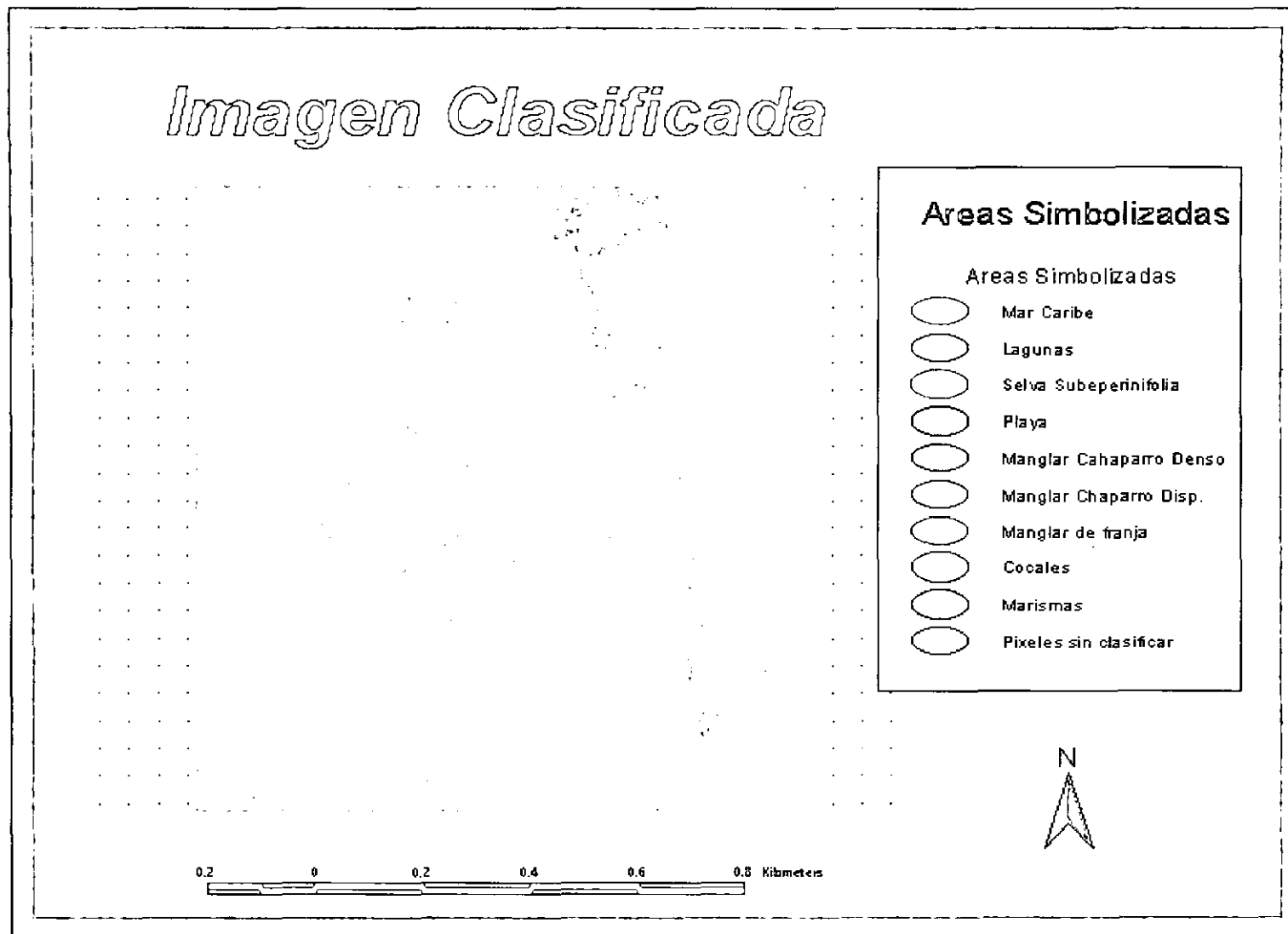


Figura 8.2 Imagen resultante de la clasificación supervisada. En esta imagen se muestra la agrupación de clases espectrales.

Tabla 8.4 Clasificación Supervisada con el algoritmo de Máxima Verosimilitud

CLASES	No de PIXELES	% de PIXELES	AREA (ha)
Mar Caribe	218,527	15.57	19,667.70
Lagunas	116,066	8.27	14,463.00
Selva Subperenifolia	424,977	30.28	38,248.20
Playa	48,494	3.40	4,364.46
Marismas	229,573	16.30	20,661.57
Cocales	108,941	7.70	9,804.69
Manglar Chaparro Denso	47,330	3.30	4,259.70
Manglar Chaparro Disperso	98,671	7.27	8,880.39
Manglar de Franja	28,823	2.05	2,594.07

<i>Tabla 8.5 Valores promedio de RGB para cada clase espectral</i>			
CLASES	Promedio Rojo	Promedio Verde	Promedio Azul
Mar Caribe	8.000	8.942	.70.000
Lagunas	8.000	1.038	69.455
Selva Subperenifolia	81.038	51.402	57.016
Playa	196.286	227.536	220.500
Marismas	49.091	99.969	66.582
Cocales	89.830	46.896	64.585
Manglar Chaparro Denso	66.909	33.864	. 65.795
Manglar Chaparro Disperso	45.782	24.626	66.000
Manglar de Franja	44.029	19.490	66.064

Tabla 8.5 Se pueden observar los valores promedio de RGB para cada clase espectral de la imagen clasificada.

Se tiene la certeza casi total de que las áreas clasificadas para el manglar corresponde con la realidad ya que cada área fue muestreada y georreferenciada. Esto nos permitió darle validez a los resultados de la clasificación a partir de la información obtenida en el campo. Esto es exclusivo para las clases que más nos interesaban, es decir para las áreas clasificadas como manglar.

En base al trabajo realizado en campo se logro una mejor clasificación espectral del manglar, debido principalmente al reconocimiento *in-situ* del la zona lo que facilito el reconocimiento de las diferentes capas de información presentes en la imagen. Esto nos permitió una mejor selección del muestreo en pantalla desplegada en el compuesto antes establecido.

Para algunas clases como son: agua, playa, cacaes, y parte de la selva, existe la certeza casi el total de las áreas clasificadas corresponden con la realidad. En algunos sitios donde se presentaron estas clases también se tomaron puntos GPS, aunque para afirmar que verdaderamente se tiene la certeza de que esas áreas clasificadas corresponden con la realidad hubiera sido necesario tomar más puntos GPS.

La carta de uso de suelo editada por el INEGI en 1984, tiene reportados 8 tipos de uso del suelo para la zona de estudio los cuales están divididos de la siguiente manera: Manglar, Sabana, Selva Baja Subcaducifolia, Selva Subperenifolia, Selva Baja Subperenifolia + Veg. Sec. Arbórea, Selva Media Subperenifolia, Selva Media Subperenifolia + Veg. Sec. Arbórea, Tular (Figura 8.3).

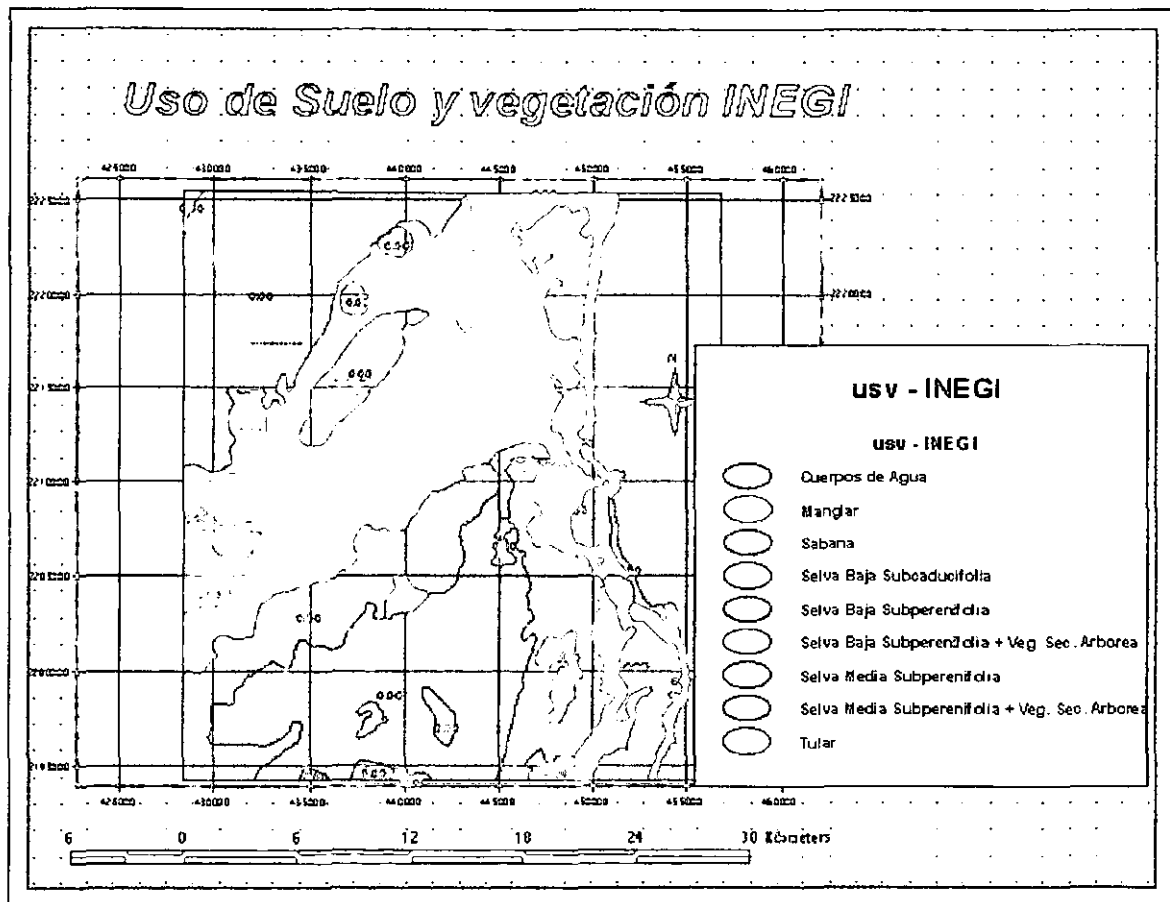


Figura 8.3 Mapa de distribución del mangle según INEGI de 1984

La tabla 8.6 muestra los resultados digitalizados de la carta de uso de suelo y vegetación reportados por el INEGI, donde se obtuvieron un total de **6 polígonos** para el manglar que abarcan una extensión total de **8631 hectáreas (ha)**.

Tabla 8.6 Extensión de los polígonos de mangle digitalizados del INEGI

Polígono de Manglar	Área (m ²)	Perímetro	km2	ha
1	5820644.000	11175.271	5.82	582.06
2	13002117.000	28482.645	13.00	1300.21
3	13442467.000	32949.625	13.44	1344.25
4	6088021.500	26701.094	6.09	609.02
5	46539752.000	86161.227	46.54	4654.07
6	1423488.750	8470.416	1.42	142.35
TOTAL	86316490.250	193,940.277	86.3100	8631.65

El mapa de uso de suelo y vegetación editado por el CIQRO y Gobierno del estado de Quintana Roo, basado en fotografías aéreas de 1981(Figura 8.4), reporta un total de **8 polígonos de Manglar** divididos en: Manglar Chaparro denso, Manglar Chaparro Disperso, Manglar de Franja, los cuales en total suman **13094.34 hectáreas**. La tabla 8.7 muestra los resultados obtenidos digitalmente de este mapa.

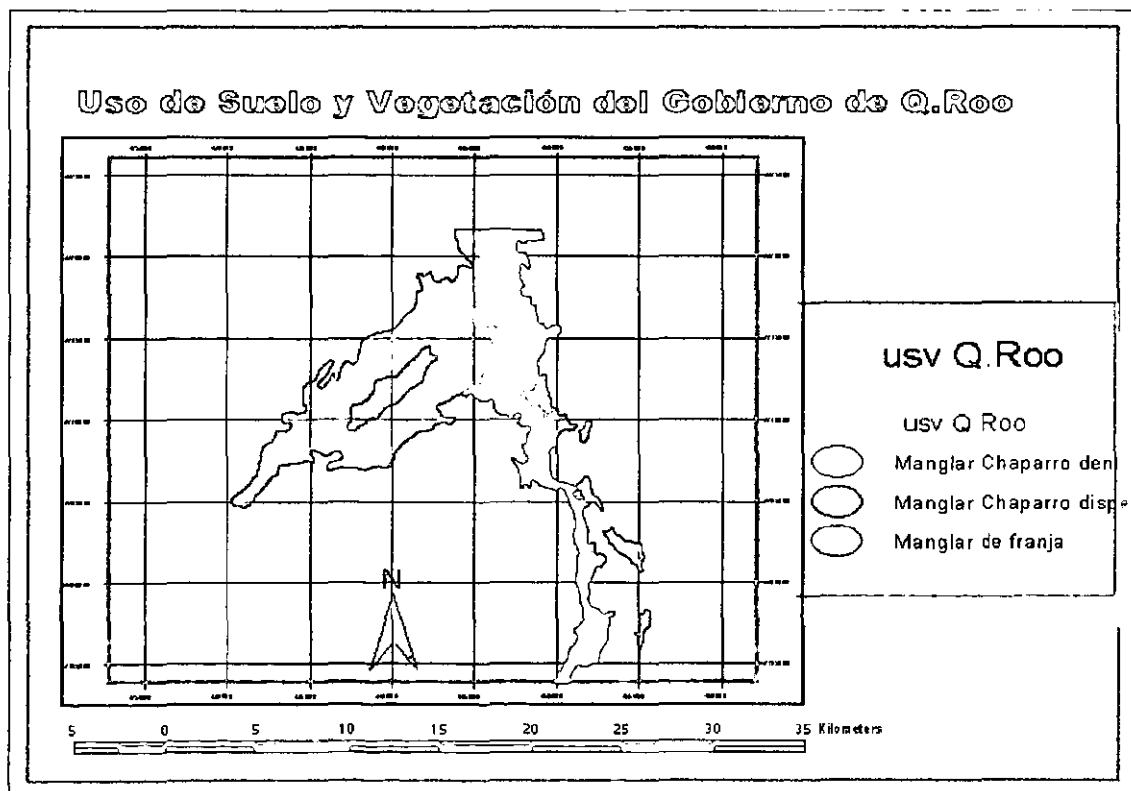


Figura 8.4 Mapa de distribución del mangle según el CIQRO y Gobierno del estado de Quintana Roo en la zona de estudio.

Tabla 8.7 Extensión de los polígonos de mangle digitalizados del mapa del CIQRO y Gob. Q.Roo

Polígono de Manglar	Área	Perímetro	km2	ha
Manglar Chaparro disperso	74172968.000	84532.477	74.17	7417.30
Manglar de franja	3194430.750	12269.389	3.19	319.44
Manglar de franja	490516.219	3242.581	0.49	49.05
Manglar de franja	1174181.375	6009.594	1.17	117.41
Manglar de franja	2281435.000	8081.731	2.28	228.14
Manglar de franja	628435.000	4484.860	0.63	63.00
Manglar de franja	883729.563	6030.126	0.88	88.37
Manglar Chaparro denso	48958284.000	86650.414	48.96	4896.00
TOTAL	130988979.9	135201.17	131.68	13090.34

La información obtenida en Internet, corregida por CONABIO la cual cita como fuente a INEGI de 1984, nos proporciona como resultado un total de 4 polígonos para la zona de estudio con una extensión total de 7,553 hectáreas (Tabla 8.8, Figura 8.5).

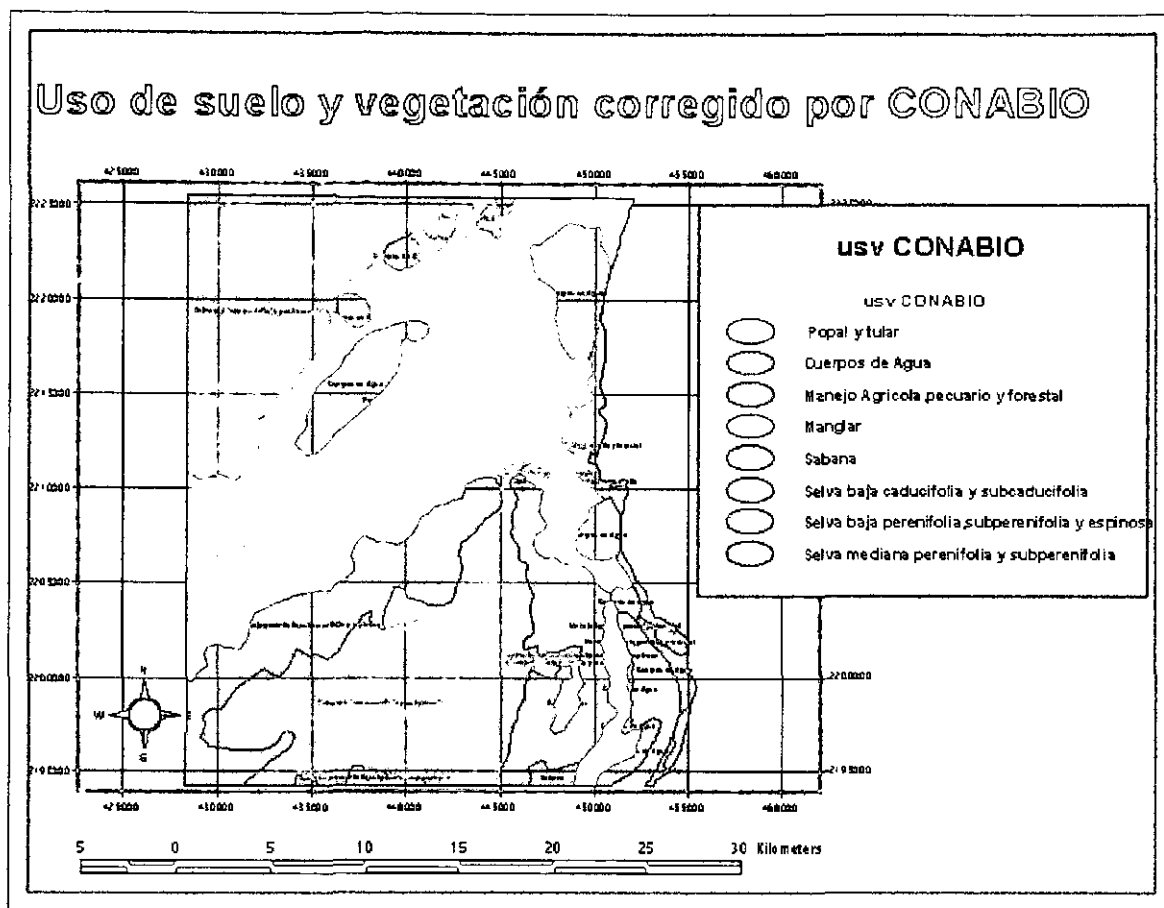


Figura 8.5 Mapa de distribución del mangle editado por INEGI de 1984 y corregido por la CONABIO

<i>Tabla 8.8 Extensión de los polígonos de mangle digitalizados del INEGI y corregidos por CONABIO</i>				
Polígono de Manglar	Área (m²)	Perímetro	km²	ha
1	46610404.90076	54628.83810	46.61	4661.04
2	5505691.07042	11303.59382	5.51	551.06
3	13306459.97754	23128.71756	13.31	1131.04
4	12100128.43821	26344.65364	12.10	1210.01
TOTAL	77522684.38693	115405.80312	77.53	7752.27

El inventario Nacional Forestal que se baso en imágenes de satélite Landsat TM, de 1993, nos reporta un total de 4 polígonos de mangle (Figura 8.6), distribuidos en la zona de estudio, con una extensión de 5,558 ha (tabla 8.9).

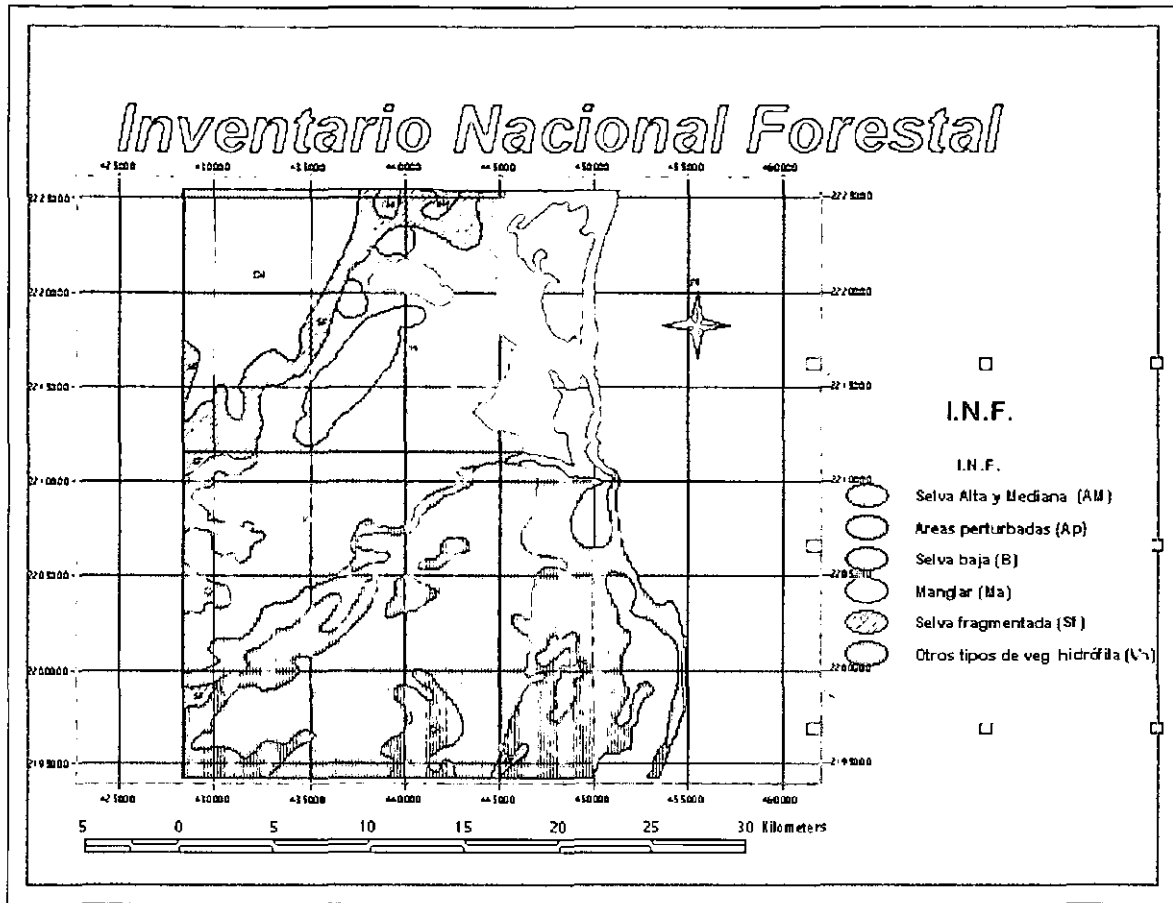


Figura 8.6 Mapa de la zona en el Inventario Nacional Forestal donde se muestran los polígonos de mangle

Tabla 8.9 Extensión de los polígonos obtenidos del Inventario Nacional Forestal

Polígono de Manglar	Área (m ²)	Perímetro (m)	km ²	ha
1	48313092.000	84720.422	48.31	4831.31
2	6057308.000	11644.654	6.06	605.73
3	595778.625	5562.216	0.60	59.58
4	609123.250	4261.863	0.61	60.91
TOTAL	55575301.875	106189.155	55.58	5557.53

Tabla 8.10 Hectáreas totales de manglar obtenido de las diferentes fuentes consultadas	
FUENTE DE LOS DATOS	HECTAREAS DE MANGLAR
IMAGEN DE SATELITE	16,004.07
CIQRO y Gob. de Q. Roo	13,094.34
INEGI	8,631.65
CONABIO	7,752.27
Inv. Nal. Forestal	5,557.33

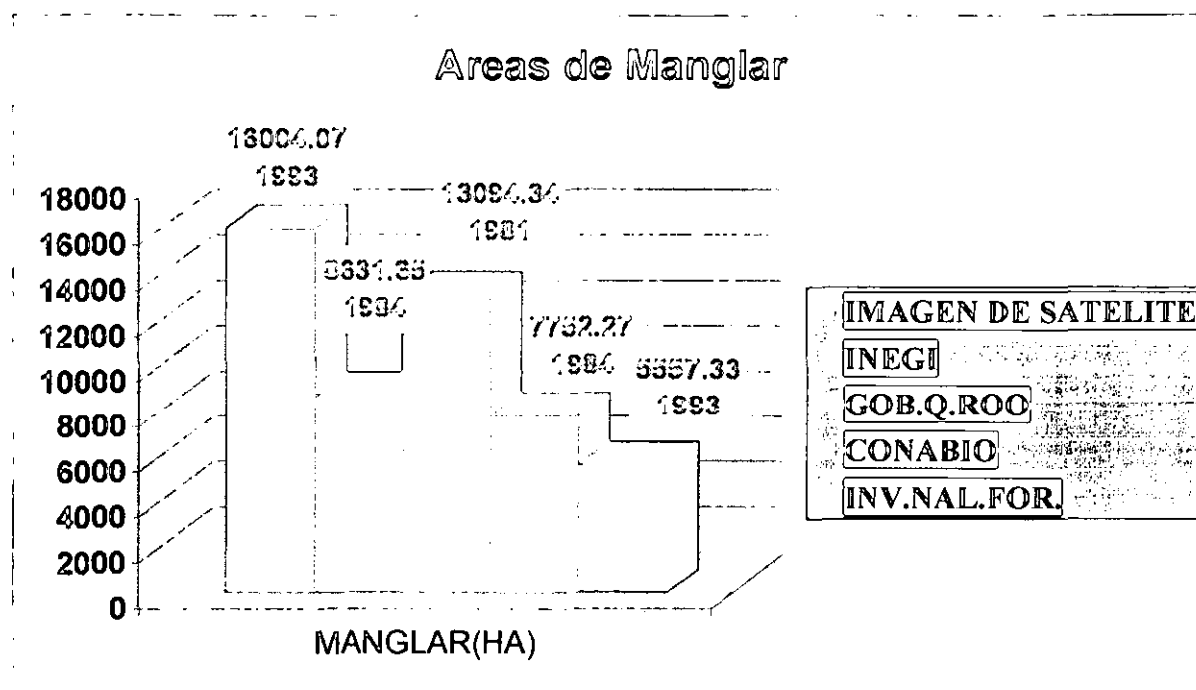


Figura 8.7 Muestra la grafica de los datos obtenidos de las diferentes fuentes de adquisición de los datos

La comunidad de manglar en la zona de estudio se compone principalmente de 4 especies, *Avicennia germinans* (Mangle negro), *Laguncularia racemosa* (Mangle blanco), *Rhizophora mangle* (Mangle rojo), y en menor proporción *Conocarpus erecta* (Mangle bastoncillo). Estos a su vez están asociados en: Manglar de franja. Manglar chaparro denso y manglar chaparro disperso.

Se muestrearon un total de 567 árboles de mangle de los cuales las especies dominantes correspondieron a: *Avicennia germinans* con una densidad relativa de 47.06 y una dominancia de 63.52, seguido de *Rhizophora mangle* con una densidad relativa de 37.67 y una dominancia relativa de 28.87. *Laguncularia racemosa* con una densidad relativa de

13.40 y una dominancia relativa de 6.92. En menor proporción se encontró *Conocarpus erecta* con densidad relativa de 1.87 (Tabla 8.11).

Tabla 8.11 Valores promedio de la estructura poblacional del manglar en la zona

Parámetros	<i>Avicennia germinans</i>	<i>Rhizophora mangle</i>	<i>Laguncularia racemosa</i>
Frecuencia rel.	40	24	24
Densidad rel.	47.06	37.67	13.40
Dominancia rel.	63.52	28.87	6.92
Valor-de importancia	150.58	90.54	44.32

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

En los sitios muestreados y en otros como el caso de la playa, la carretera y otras capas de información fue tirado un punto GPS, llegando a un total 55 puntos. La figura 8.8 muestra los puntos de muestreo georreferenciados en campo los cuales abarcan en su gran mayoría las zonas de manglar.

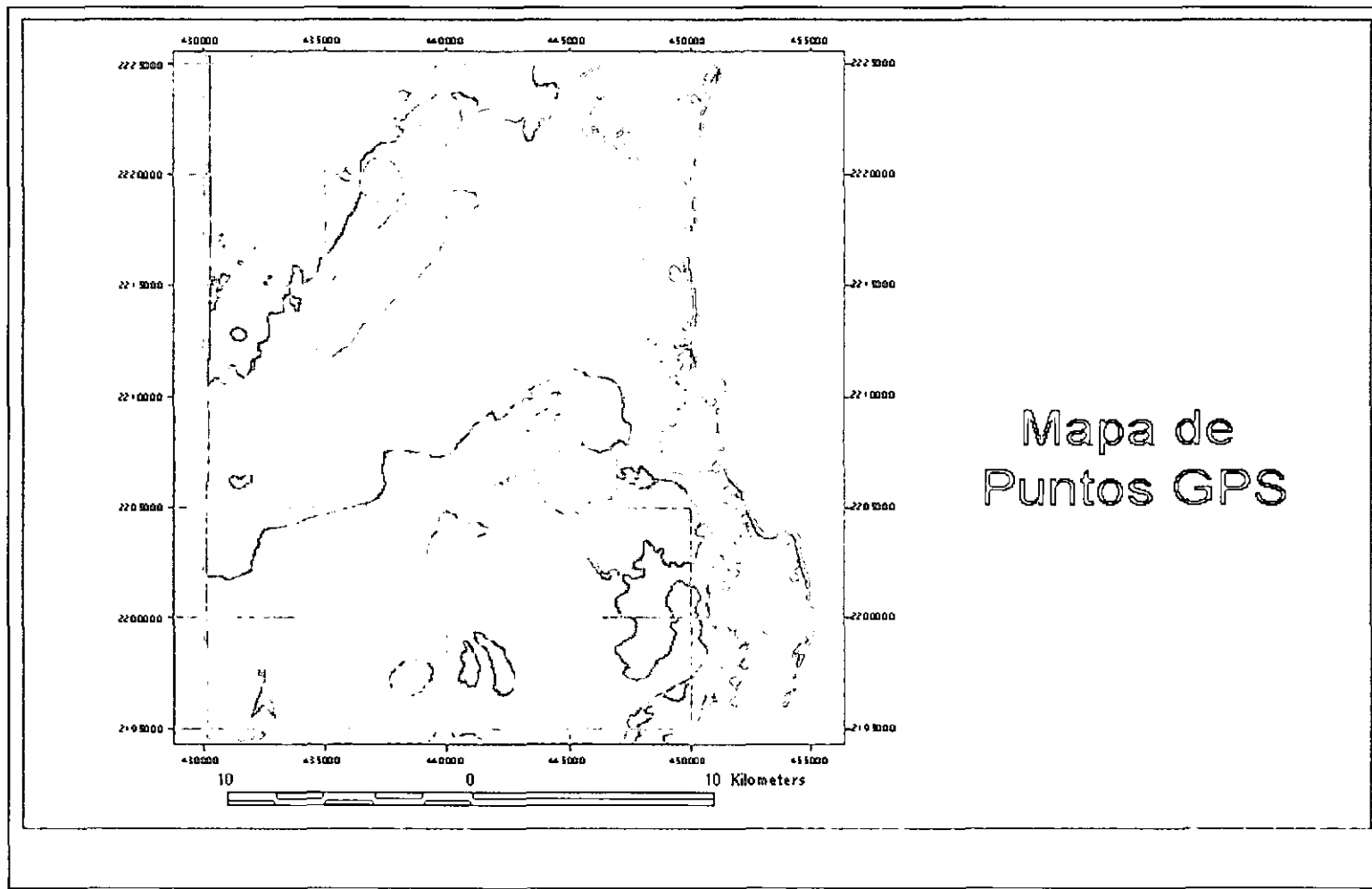


Figura 8.8 Mapa de ubicación de los puntos GPS en la zona de estudio

9. DISCUSIÓN

Los resultados aquí obtenidos demuestran en gran medida la eficacia que tiene el utilizar herramientas como la Percepción Remota en el estudio de los manglares. De la Lanza, et-al (1993), asegura algo similar al evaluar y efectuar una clasificación para las diferentes asociaciones de manglar en la Laguna de Términos Campeche, México. En ella, utilizó imágenes de satélite Landsat TM.. A resultados similares llegó Ramírez-García (1993), al evaluar la comunidad de mangle de la desembocadura del río Nayarit utilizando fotografía aérea e imágenes de satélite del mismo tipo.

En los resultados se pudo constatar que la imagen de satélite Landsat TM de 1993 aunque tiene una antigüedad de 8 años, proporcionó la mayor cobertura de área de manglar con un total de 16,004.07 ha. En contraste, el inventario nacional forestal fue el que dio los más pobres resultados con un total de 5,557.33 ha.. La información del INEGI que data de 1984 arrojó una área de 8,631.65 ha, mientras que el mapa del CIQRO y Gobierno del estado de Quintana Roo con información del año de 1981 presento una cifra de 13,094.34 ha. Es importante mencionar que la cantidad de área de mangle obtenida en la imagen de satélite superó por mucho a las cantidades obtenidas de las otras fuentes de adquisición de los datos. Es igualmente importante hacer énfasis en la cifra de mangle obtenida en el mapa del CIQRO y estado de Quintana Roo, el cual muestra un dato relativamente cercano al obtenido en la imagen de satélite. Esto se debió principalmente a que ellos al momento de capturar la información, si toman en cuenta una extensión de mangle relativamente grande presente en la zona de estudio.

De las 8631.65 ha. de mangle obtenidas en la digitalización de las cartas del INEGI, se puede observar que no tomaron en cuenta al momento de elaborar dichas cartas la misma extensión de manglar antes mencionada y comprendida en nuestra zona de estudio. Esta área los fotointérpretes la denominan como una área de Tular y no como manglar. INEGI para la construcción de sus cartas de uso de suelo vegetación de esa zona. se baso en fotografía aérea 1:25 000 de los años 80s.

Como era de esperarse, los resultados obtenidos de la información digital de INEGI corregida por la CONABIO, se encontró la misma área sin clasificar como mangle. La diferencia aquí fue que ellos la denominan Popal además del Tular previamente establecido por el INEGI.

Es muy importante mencionar que al momento de analizar la información digital de esta fuente consultada se observaron errores garrafales de digitalización por lo que no se recomienda su uso en trabajos posteriores en los que se requiera de una exactitud mínima en las diferentes asociaciones vegetales presentes en sus mapas digitales.

Como anteriormente se mencionó, el área de manglar obtenida del Inventario Nacional Forestal representa la cifra mas baja de todas fuentes consultadas. Es muy probable que las asociaciones y agrupaciones vegetales obtenidas de las imágenes de satélite de 1993 para esa región del país no hayan sido las correctas. Sabemos por la experiencia personal con

algunos intérpretes encargados de la elaboración de dicho inventario, que en muchos de los casos los criterios de clasificación fueron variados además de que los compuestos a color utilizados fueron compuestos estándar en casi toda la República Mexicana y no un compuesto específico como en el caso nuestro. Esto se puede entender desde el punto de vista de que en el inventario nacional forestal ellos trabajaron a una escala de trabajo mucho menor a la nuestra, es decir a nivel nacional. Nosotros trabajamos a un nivel regional de una zona y por eso se puede entender la diferencia de los resultados aunque no deja de ser importante mencionarlo para los investigadores que deseen hacer uso de esta fuente de información y más si requieren trabajar a una escala de trabajo detallada.

En la grafica (Figura 8.8), se puede ver claramente una diferencia en las cifras obtenidas de manglar al analizar todas las fuentes consultadas y comparando esos resultados con los obtenidos del procesamiento digital de nuestra imagen.

Las áreas no tomadas en cuenta al momento de fotointerpretar para el caso específico del INEGI y por consecuencia la CONABIO, y no utilizar un compuesto a color específico para cada zona por parte del Inventario Nacional Forestal, es lo según nosotros da esa variabilidad en los datos obtenidos.

Con el trabajo realizado en campo mediante la clasificación de la imagen se logró determinar que el área de estudio esta compuesta de diferentes especies de mangle entre las que destacan en mayor proporción *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* además de las otras dos en menor proporción.

Según la tendencia actual de los recursos naturales, en nuestro caso era de esperarse encontrar un decremento gradual en la cobertura forestal de los manglares al momento de analizar las diferentes fechas de adquisición de los datos evaluados de las distintas fuentes. Lo que encontramos es que dicho fenómeno no sucede. Por el contrario la fecha mas reciente que es la que corresponde a nuestra imagen de 1993, es la que mayor área resulta de manglar

En el presente trabajo se busco y utilizó para la clasificación el compuesto que mas se adecuaba a nuestras necesidades, resultando una extensión mayor de mangle, la cual como se había dicho antes fue corroborada en campo. Lo anterior dio hasta cierto punto la certeza de que fue manglar lo que realmente clasificamos en la imagen de satélite y, aunque el INEGI y el Inventario Nacional Forestal en sus metodologías también corroboraron en campo sus resultados resulta evidente que debido a la escala de su trabajo la cual es a nivel nacional dicha corroboración no fue la adecuada por lo que quedan muchos huecos y errores en sus resultados. Es de esperarse que en las otras clases espectrales presentes en la escena capturada en la imagen ocurra algo similar y no se exista congruencia con la realidad

10. CONCLUSIÓN

La comunidad de mangle en la zona de estudio esta compuesta en su mayoría por *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*.

El compuesto a color RGB 451 utilizado en la imagen de satélite de la zona de estudio, fue el que sirvió más para poner al descubierto los manglares presentes en la escena; además se encontró que esta fuente de información fue la que mayor área de mangle proporcionó en relación a las otras consultadas.

Se tuvo hasta cierto punto la certeza por muestreos en campo que se logró determinar la extensión y localización del mangle presente en la zona de estudio al momento de analizar la imagen.

En relación a los resultados obtenidos en la imagen de satélite se concluye que la zona aquí estudiada al parecer no había sufrido pérdida en su cobertura forestal de mangle hasta 1993. Hay que hacer la aclaración que esto es comparando los resultados obtenidos en la clasificación de nuestra imagen de satélite con las otras fuentes de adquisición de los datos que son de fechas anteriores a 1993.

Es necesario comparar la información obtenida de la imagen de satélite Landsat TM de 1993 con la que se obtenga al procesar digitalmente imágenes de diferentes fechas, las cuales pueden ser de preferencia posteriores a 1993 o anteriores a esta la misma fecha. Con este estudio se permitirá evaluar de manera precisa de forma multitemporal esta zona de la reserva, detectando cualquier cambio en el paso del tiempo.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez Portal,R., Proyecto C.T. Telemar-Caribe, informe, IGT, La habana, Cuba, 1996
- Alvarez Portal R. 1995 “Manual practico de Fotogrametría”, IGT, Cuba.
- Altenburg, W. (1990). Living of the Tides. WWF. 119 p
- Bezaury, J.1991. “ Turismo y Conservación”. En: *Boletín Amigos de Sian Ka' an* (6:3-4.
- Blasco, F. 1991. Los manglares, Mundo Científico 114 (11): 616-625
- Blasco, F. 1988b, Estudio sobre los manglares y la vegetación tropical utilizando datos proporcionados por satélites, Instituto de la Carte Internatinal de la Vegetation, Inst, Interna. Map Vegetat. Univ. Paul Sbatier. Tolouse. Cedex, Francia, 43p.
- Blasco, F; M. France and M.V. Chandhury, 1992, Estimating the Extent of Floods in Bangladesh Using SPOT Data Sens. Environ. 39, 167-178.
- COMAS, DAVID Y RUIZ, ERNESTO (1993): Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica. Edit. Ariel, Barcelona.
- CIQRO 1983, *Sian Ka'an. Estudios Preliminares de una zona en QRO. propuesta como Reserva de la Biosfera*. Centro de Investigaciones de QRO. , A.C., pp163-173.
- Chuvieco, E., 1990. Fundamentos de Teledetección, Madrid, España. Ed. Rialp S.A.
- Durán, G. e I. Olmsted 1990 “Plantas vasculares de Sian Ka' an” en : D. Navarro y J. G. Robinson (comps.). *Diversidad Biológica en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an QRO. Mex*. Centro de Investigaciones de QRO., Mex. pp47-94.
- Everitt, J.H. and F.W. Judd, 1989, Using Remote Sensing Techniques to Distinguish and monitor Black Mangrove (*Avicennia germinans*), *Journal of coastal Research* 5(4): 737-745.
- Everitt, J.H.; D.E. Escobar and F.W. Judd, 1989, Evaluation of Airbone Video Imagery for Distinguish and monitor Black Mangrove (*Avicennia germinans*), *Journal of coastal Research* 7(4): 1169-1173
- FAO/Montes. 1994. Directrices para la Ordenación de los Manglares. FAO. Santiago, Chile. 325p.
- FAO-UNESCO. 1989 *Mapa Mundial de suelos* . FAO, UNESCO, ISRIC. versión en español Santiago de Compostela, España. Sociedad Española de Ciencia del Suelo. España, 201 pp.

Granados-Sánchez D.,G. López-Ríos; Los manglares de Quintana Roo, Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente 4 (2): 253-265, 1998.

Gentry A.H.. 1982. Paterns of Neotropical Plant Species Diversity. Evolutionary biology:1-84

Gentry A.H.. Keel S. and Spinzi L.1993. Using vegetation analysis to facilitate the selection of conservation sites in eastern Paraguay , Conservation Biology. 7(1): 66-73

<http://www.nhmi.org/mangroves/phy.htm>

<http://www.teledet.com.uy/percepdesdesat.htm>).

<http://www.teledet.com.uy/quees.htm>

<http://www.ltid.inpe.br/selper/image/espanhol/landsat5.html>

<http://www.ltid.inpe.br/selper/image/espanhol/landsat5.html>

http://uicnhumedales.org/boletin/archivo/no1/articulo_fondo.htm

<http://escenarios.com/natura/manglares.htm>

INE 1992. *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka' an*, SEDESOL, México.

INE 1993. *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka' an*, SEDESOL, México.

INEGI 1988. *Atlas Nacional del Medio Físico*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Mex.,224 pp.

INEGI 1992 y 1993. *Datos Básicos de la Geografía de México*. 2da edición, Aguascalientes, Ags, México, 142pp.

INEGI.. *Carta Uso de Suelo y Vegetación, E-16-2-5.*, Bahía de la Ascensión; Escala 1:250000, 1984, SPP.

INEGI.. *Carta Uso de Suelo y Vegetación, F-16-11.*, Cozumel ; Escala 1:250 000, 1984, SPP

INEGI.. *Carta Topográfica, E-16A18.*, Punta Allen ; Escala 1:50 000, 1987.

INEGI.. *Carta Topográfica, F-16C88.*, Tulum; Escala 1:50 000, 1987.

Johnson, R. W. And Munday Jr., 1983, The Marine Environment en: Manual of Remote Sensing, Colowell, R.N. (Ed), American Society of Photogrametry, the Aheridan Press, Vol II, pp. 1371-1496.

Lacerda, D., Conde, J. Bacón, P., Álvarez, R., Cruz, D. Y Kjerfve, B. (1993). Ecosistemas de Manglar de América Latina y el Caribe. En: Lacerda, D. (Editor). Conservación y Aprovechamiento Sostenible de Bosques de Manglar en las Regiones de América Latina y África. Ecosistemas de Manglares. ITTO. Yokohama, Japón. Vol 2: 1-39

Lanza de la G; P., Ramírez García, Ives F. Thomas y A.R. Alcántara, 1993. La vegetación de manglar en Laguna de Términos, Campeche, Evaluación preeliminar a través de imágenes Landsat, Hidrobiologica 3(1-2), 30-39.

Lazcano-Barrero, M.A.1990 “ Conservación del Cocodrilo en Sian Ka’ an : *Amigos de Sian Ka’an* , Boletín Num. 5 QRO. Mex. pp 8-10.

López-Ornat, A. 1990 “ Avifauna de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka’ an, en : D.Navarro y J. G. Robinson (comps.). *Diversidad Biológica en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka’an QRO. Mex.* Centro de Investigaciones de QRO., Mex.pp 332-370.

López, O. A. 1991 “ Las Aves acuáticas de Sian Ka’ an en : *Amigos de Sian Ka’an* , Boletín Num. 7 QRO. Mex. pp 9-10 .

Mainardi, V. 1996. El manglar de Térraba-Sierpe en Costa Rica. CATIE. Turrialba, Costa Rica. p. 1-15.

Navarro,L.D. y E. Suárez M. (comps.)1990. *Diversidad Biológica en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka’an QRO. Mex.* Centro de Investigaciones de QRO., Mex. 382 pp .

Notas del III Diplomado Internacional de PR y SIG (Geoprocesamiento Integrado), Aplicado al Manejo y Ordenamiento de los Recursos Naturales. UAM Iztapalapa, 1998., México D.F.

Olmsted, I. C., A. López, O. y R. Duran G., 1983 Vegetación de Sian Ka ´an: Reporte preeliminar de una zona en Quintana Roo propuesta como reserva de la Biosfera. Centro de Investigaciones de Q. Roo Ac. Pp 63-84.

Ortiz y Pérez, 1995. “Estructuras Tectónicas de hundimiento de en Bacalar, y Sian Ka ´an, Q.Roo, Evidencia a partir de Imágenes de satélite y modelos digitales. Memorias del VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, SELPER-México.,1995, pp 353-359.

Ramírez G.P. 1993. Procesamiento de Información Landsat TM y fotografía aérea para la evaluación de la comunidad de manglar en la desembocadura del río Nayarit, México.

Memorias del VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, SELPER-México.,1995,276-295.

Ramírez, G.P. 1993 *Abundancia de especies de fauna silvestre y su aprovechamiento en los asentamientos humanos cercanos a la Reserva de la Biosfera de Sian Ka 'an, QRO*, Amigos de Sian Ka'an, A.C. Mex. 37 pp.

Rhind, D.W. (1991): "The history of Geographic Information Systems", en Maguire, D.J., Goodchild, M.F. y Rhind, D.W. (coords.):GIS: Principles and Applications, Longman Scientific and Technical, London, vol. 1, págs. 21-43

Rodríguez Teresa, 2000, Manglares de Celestun y Ria Lagartos: Estructura Fisonómica y Evaluación de la deforestación mediante percepción remota, Yucatán, México.

Roollet, B., 1975, Ecología y reforestación de los manglares de México. ONU/FAO. FI: SF/Mex 15,126 p.

Roollet, B.,1994, Introduction a l'Etude des Mangroves du Mexique, Part 1, Rev. Bios Forest Tropiques 156, 3-26.

Roollet, B.,1994, Introduction a l'Etude des Mangroves du Mexique, Part 2, Rev. Bios Forest Tropiques 157, 53-74.

Rzedowski,J. 1983. *Vegetación de México*. Editorial Limusa. México D.F.,432 pp.

Snedaker, S. y Getter, C. (1985). Pautas para el Manejo de los Recursos Costeros. Serie de Información sobre Recursos Renovables. Research Plannig Institute. No. 2: 33-53.

Sorani. V., Álvarez R. El inventario Nacional Forestal de México. Resultados y Productos derivados de la base de datos geográfica. Memorias del VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, SELPER-México.,1995, pp 554- 564.

Von Prael, H., Cantera, J. y Contreras, R. (1990). Manglares y Hombres del Pacífico Colombiano. Editorial Presencia. Colombia. p. 31-184.