



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACION
GEOGRÁFICA

**“DETERMINACIÓN DE LA DINÁMICA DEL BOSQUE MANGLAR DEL
DEPARTAMENTO DE RETALHULEU Y EL MUNICIPIO DE OCOS EN SAN
MARCOS, PERIODO 1974 - 2010”**

ING. AGR. FRANCISCO JAVIER ESPINOZA MARROQUÍN

Guatemala, junio de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**“DETERMINACIÓN DE LA DINÁMICA DEL BOSQUE MANGLAR
DEL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU Y EL MUNICIPIO DE
OCOS EN SAN MARCOS, PERIODO 1974 - 2010”**

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO A LA ESCUELA DE
POSTGRADOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA POR

ING. AGR. FRANCISCO JAVIER ESPINOZA MARROQUIN

AL CONFERIRSELE EL DIPLOMA DE ESPECIALISTA EN
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

GUATEMALA, JUNIO DE 2011

ACTO QUE DEDICO A

Mi hijo

Francisco Donato Espinoza Vela

Como ejemplo para que alcance las metas que se plantea y vea que no existe sueño imposible.

Mis sobrinos

Nedwed Raúl Ramírez Espinoza
Erick Andrés Ramírez Espinoza
Ángel Ramírez Espinoza
Beylian Espinoza Ambrosio

Para que no tengan temores al plantearse metas extraordinarias pues al alcanzarlas tendrán satisfacciones extraordinarias.

INDICE DE GENERAL

Contenido	Página
INDICE DE TABLAS-----	iii
INDICE DE FIGURAS-----	v
ABSTRACT-----	vii
RESUMEN-----	ix
I. INTRODUCCION -----	1
II. OBJETIVOS-----	3
III. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN-----	5
IV. ANTECEDENTES-----	7
1. MARCO TEÓRICO -----	9
1.1 Zona de vida-----	9
1.2 El Bosque Manglar-----	10
1.2.1 Especies de mangle en Guatemala-----	11
1.2.1.1 <i>Rhizophora Mangle</i> -----	11
1.2.1.2 <i>Laguncularia racemosa</i> -----	13
1.2.1.3 <i>Avicennia germinans</i> -----	15
1.2.1.4 <i>Conocarpus erecta</i> -----	17
1.3 Percepción remota-----	18
1.3.1 Energía electromagnética-----	19
1.3.2 Interacción de la radiación con la superficie terrestre-----	21
1.3.3 La reflectancia en los vegetales-----	22
1.3.4 Reflectancia del agua-----	24
1.3.5 Reflectancia de los suelos-----	25

Contenido	Página
1.3.6 Firmas espectrales-----	25
1.4 Imágenes de satélite-----	26
1.4.1 Resolución de imagen-----	26
1.4.2 Satélites Landsat-----	28
1.4.3 Imágenes de alta resolución-----	31
1.4.3.1 Geoeye 1-----	31
1.4.3.2 IKONOS-----	32
1.4.3.3 QuickBird-----	33
1.5 Procesamiento de imágenes satelitales-----	34
1.5.1 Pre-procesamiento-----	34
1.5.2 Realces-----	35
1.5.2.1 Estiramiento de contraste-----	35
1.5.2.2 Filtrado espacial-----	36
1.5.2.3 Combinaciones de bandas-----	37
1.6 Análisis de imágenes digitales-----	38
1.6.1 Análisis de Componentes Principales-----	39
1.6.2 Clasificación no supervisada-----	40
1.6.3 Clasificación supervisada-----	40
2. MÉTODOLOGIA-----	41
2.1 Materiales y equipo-----	41
2.2 Métodos y procedimientos-----	42
2.2.1 Delimitación del área de estudio-----	42
2.2.2 Obtención de imágenes de Satélite-----	42
2.2.3 Muestreo-----	43
2.2.4 Análisis de imágenes-----	44
2.2.5 Generación de mapas-----	44

Contenido	Página
3. RESULTADOS -----	47
3.1 Cobertura del bosque manglar 1974-----	47
3.2 Cobertura del bosque manglar 1988-----	51
3.3 Cobertura del bosque manglar 1995-----	54
3.4 Cobertura del bosque manglar 2000-----	58
3.5 Cobertura del bosque manglar 2008-----	60
3.6 Cobertura del bosque manglar 2010-----	63
V. CONCLUSIONES -----	69
VI. RECOMENDACIONES -----	71
VII. BIBLIOGRAFÍA -----	73
VIII. ANEXOS -----	77

INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Rango de longitud de onda del espectro electromagnético de la luz visible-----	21
2. Descripción de las fechas de lanzamiento y fin de operación de los satélites LANDSAT-----	29
3. Características espectral y espacial de las imágenes de los satélites LANDSAT-----	30
4. Características espectral y espacial de las bandas del sensor Enhanced Thematic Mapper Plus del Satélite LANDSAT-7-----	31
5. Especificaciones espectrales y espaciales de las imágenes de GEOEYE 1-----	32
6. Especificaciones espectrales y espaciales de las imágenes de IKONOS-----	33
7. Descripción de las imágenes Landsat utilizadas para el proyecto-----	43
8. Dinámica del bosque manglar en el periodo 1974-2010-----	66

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Detalle de hojas, flor y frutos de <i>R. mangle</i> -----	13
2. Colonización de un canal por <i>L. racemosa</i> como especie pionera----	15
3. Corte transversal de una hoja, mostrando la estructura interna, sus organelos y la trayectoria de la energía electromagnética incidente.-----	23
4. Firmas espectrales del suelo, la vegetación y el agua en los canales 1-4 del sensor TM de LANDSAT-----	26
5. Respuesta espectral del mangle y el agua en el Manchón Guamuchal, imagen Landsat MSS de 1974-----	47
6. Cobertura de mangle en Manchón Guamuchal en 1974, imagen Landsat, sensor multiespectral -----	49
7. Distribución del bosque manglar en el año 1974 en el municipio de Ocós, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu-----	50
8. Respuesta espectral del bosque manglar en el municipio de Champerico, Retalhuleu -----	51
9. Distribución del bosque manglar en Ocós, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu, en el año 1988-----	52
10. Dinámica del bosque manglar en Ocós, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu, periodo 1974-1988-----	53
11. Cambios en el Manchón Guamuchal durante el periodo 1974-1988-----	54
12. Distribución del bosque manglar en Ocós, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu en el año 1995-----	55

Figura	Página
13. Imagen de satélite Landsat de 1995, identificando las camaroneras en el municipio de Champerico-----	56
14. Dinámica del bosque manglar durante el periodo 1988-1995 en el municipio de Ocos, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu----	58
15. Distribución del bosque manglar en el año 2000, en el municipio de Ocos, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu-----	59
16. Distribución del bosque manglar en el año 2008, en los municipios de Ocos, San Marcos; Retalhuleu y Champerico, en el departamento de Retalhuleu -----	61
17. Dinámica del bosque manglar en el periodo 2000-2008, en el municipio de Ocos, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu-----	62
18. Distribución del bosque manglar en el año 2010, en el municipio de Ocos, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu-----	64
19. Grafica de variación de la cobertura del bosque manglar durante los años 1974,1988, 1995, 2000, 2008 y 2010-----	65
20. Colonización de canales por especies de mangle <i>A. germinas</i> y <i>L. racemosa</i> .-----	66
21. Tala del bosque manglar y medios de transporte utilizados para la extracción de madera de mangle-----	68
22. Mapa de ubicación del área de estudio-----	78

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE MANGROVE FOREST DYNAMICS FROM RETALHULEU DEPARTAMENT AND MUNICIPALITY OF OCOS SAN MARCOS, PERIOD 1974-2010

In this study we determined the mangrove forest change from 1974 to 2010 of the department of Retalhuleu and the municipality of Ocos in San Marcos. We used remote sensing techniques with Landsat satellite images to identify the change in the forest coverage in the years 1974, 1988, 1995, 2000, 2008 and 2010, with these data, we estimated patterns of change, helping to understand the factors that alter the forest, serving as a basis for developing action plans to conserve this important resource.

Mangrove forests are distributed in coastal areas of the tropics and subtropics, covering much of its coastline on the mainland. These ecosystems are important habitat for many species of terrestrial and marine fauna, where biodiversity becomes a very significant extent, is also characterized by being protective forests, as well as very important indicator of environmental status. Moreover, Guatemala has few areas of this forest, so much so that in the maps of vegetation, the mangrove forest appears as small lines on the Pacific coast of Guatemala.

The Pacific mangroves were studied by Morales, J. (1979), by visual interpretation of aerial photography to the years 1965 and 1974, also use one image of satellite ERTS MSS (Landsat 1) year 1978.

The objectives set for this project were: 1) quantify the actual area of mangrove forest from Retalhuleu department and the municipality of Ocos San Marcos; 2) determine the variations of mangrove forest from Retalhuleu and Ocos, San Marcos, during the period 1974-2010 and 3) identify factors affecting the change of mangrove forest.

In the year 1974 was quantified the mangrove forest coverage in the study area, being 100 square kilometers. In the year 1988, the mangrove coverage was 64 km², in the year 1995, coverage was 67 km², in 2000 the floor area was 73 km², in 2008 the mangrove cover was 76 km² , finally, in the year 2010 the mangrove cover was 77 km².

The largest mangrove forest cover was calculated for 1974 and the lowest was in 1988. The distribution patterns of mangrove forest were in increase in the Manchón Guamuchal since 1988 and decreased in other areas that had this forest. This is attributed to the creation of canals to bring water to the Tamashán shrimp farm and abandonment of one of these farm in the Manchón Guamuchal.

After 1995 the Manchón Guamuchal was declared a special protection area (1998) this helped to preserve and recover, while the remaining area containing the resource was heavily exploited for power consumption and construction. In the mangroves near populated areas, access to transportation facilitates the exploitation forest and contributes to the loss of biodiversity.

RESUMEN

DETERMINACIÓN DE LA DINÁMICA DEL BOSQUE MANGLAR DEL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU Y EL MUNICIPIO DE OCOS EN SAN MARCOS, PERIODO 1974 – 2010

En este trabajo se determinó la dinámica del bosque manglar del departamento de Retalhuleu y del municipio de Ocos, San Marcos. Se emplearon técnicas de percepción remota con imágenes de los satélites Landsat para identificar la cobertura de dicho bosque en los años 1974, 1988, 1995, 2000, 2008 y 2010; con los datos obtenidos, se estimaron patrones de cambio, ayudando a entender los factores que alteran este bosque, que pueden ser utilizados como base para la elaboración de planes de acción de conservación de este recurso importante.

Los bosques manglar se distribuyen en zonas litorales de los trópicos y subtropicos, cubriendo gran parte de su línea de costa en tierra firme. En estos importantes ecosistemas tienen su hábitat un gran número de especies de la fauna terrestre y marina, donde la biodiversidad adquiere un grado muy significativo; se caracterizan, además, por ser bosques protectores, también como indicador muy importante del estado medio ambiental. Por otra parte, Guatemala posee pocas áreas de este bosque, tanto así, que en los mapas de cobertura vegetal, el bosque manglar aparece como pequeñas líneas en el litoral del pacífico guatemalteco.

Los manglares del pacífico fueron estudiados por Morales, J. (1979), mediante la interpretación visual de fotografía aérea de los años 1965 y 1974,

también utilizo una imagen del sensor MSS del satélite ERTS (Landsat 1) del año 1978.

Los objetivos específicos que se plantearon para este proyecto fueron: 1) Cuantificar el área actual del bosque manglar del departamento de Retalhuleu y el municipio de Ocos, San Marcos; 2) Determinar las variaciones del bosque manglar de Retalhuleu y del municipio de Ocos, San Marcos durante el periodo 1974-2010 y 3) Identificar los factores que inciden en el cambio del bosque manglar.

La metodología consistió en: a) delimitación temporal y espacial del área de estudio; b) obtención de imágenes de los satélites Landsat, estas fueron obtenidas de la página de ESDI de Gloval Land Cover Facility (GLCF). También se obtuvieron imágenes de GLOVIS de donde se obtuvo la imagen del año 2010. c) Muestreo para ubicar las especies de mangle, estos datos fueron empleados para la clasificación de las imágenes. d) Clasificación de las imágenes, esta etapa fue realizada con el software MultiSpec®. Debido a que las imágenes corresponden a años anteriores no se debía realizar una clasificación supervisada pues no se conocía la superficie para la selección de las áreas de entrenamiento, por ende, se realizó clasificaciones no supervisadas, generando clúster basado en la respuesta espectral de las superficies. En este caso se emplearon todas las bandas con la misma resolución espacial. d) análisis post-clasificadorio, donde se excluyeron las clases que no correspondían al rango espectral del manglar.

Se cuantifico el área que cubre el bosque manglar en el departamento de Retalhuleu y parte del municipio de Ocos, San Marcos. Para el año de 1974 se cuantifico la cobertura del bosque manglar del área en estudio, siendo de 100 kilómetros cuadrados. Para el año de 1988 se cuantificó 64 km²; en el año de 1995 la cobertura era de 67 km²; en el 2000 la superficie cubierta era de 73

km²; en el año 2008 la cobertura del mangle era de 76 km² y a finales del año 2010 la cobertura del bosque fue de 77 km².

La mayor cobertura del bosque manglar calculada fue para el año 1974 y la menor fue en el año 1988. En los patrones de distribución de este bosque se observó que el manglar aumentó en el Manchón Guamuchal desde 1988 y decreció en el resto de áreas que contenían este bosque. Este comportamiento se atribuye a la creación de canales para llevar agua a la granja camaronera Tamashán S.A. y al abandono de una de estas posteriormente. Después de 1995 el Manchón Guamuchal fue declarado área de protección especial (1998) por lo que fue preservado ayudando a su recuperación, mientras que el resto de áreas que contenían este recurso fueron explotadas fuertemente para consumo.

En los manglares cercanos a las áreas pobladas –especialmente en la cabecera municipal de Champerico- la biodiversidad ha sido afectada fuertemente, pues no existen sitios de anidamiento de aves marinas y los nichos para mamíferos y reptiles han desaparecido, a tal grado que es difícil escuchar el canto de aves y casi imposible observar animales dentro del manglar.

La cercanía de las áreas pobladas al manglar y el acceso a vehículos terrestres y medios de transporte acuáticos acelera la desaparición de este bosque y con ello, todos los ecosistemas asociados.

I. INTRODUCCION

En este trabajo se determinó la dinámica del bosque manglar que se encuentra en el departamento de Retalhuleu y parte de del municipio de Ocos, San Marcos. Para ello, se utilizaron técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica.

Este proyecto fue planteado porque el bosque manglar es uno de los ecosistemas fundamentales para la biodiversidad marina y terrestre, pues sirve como guardería para la ictiofauna, anidamiento de aves migratorias, así como nichos para diferentes mamíferos y reptiles. Debido a que es un ecosistema muy sensible a las alteraciones que se producen en su entorno, su estabilidad peligra y con ello la seguridad de otros sistemas que dependen de este.

Debido a la importancia del bosque manglar, desde el año 1965 se han realizado diversos estudios para la cuantificación de este bosque. Los resultados no han sido consistentes, a tal grado que existe una diferencia de 38,000 hectáreas entre algunos estudios. Por esta incongruencia en los diferentes estudios y por la importancia que tiene el bosque manglar para la seguridad alimentaria de las poblaciones humanas asociadas a dicho sistema, se hace necesario realizar estudios que logren estimar el área que existe actualmente de este recurso. Por estas razones, se determinó la dinámica del bosque manglar en el departamento de Retalhuleu y la parte del Humedal Manchón Guamuchal que corresponde al municipio de Ocos San Marcos.

El objetivo general planteado fue “Determinar la dinámica del bosque manglar del departamento de Retalhuleu y el municipio de Ocos en San Marcos, periodo 1974 – 2010.

Los objetivos específicos fueron: 1.) Cuantificar el área actual del bosque manglar del departamento de Retalhuleu y el municipio de Ocos, San Marcos, 2) Determinar las variaciones del bosque manglar de Retalhuleu y del municipio de Ocos, San Marcos; y 3) Identificar los factores que inciden en el cambio del bosque manglar.

Se emplearon imágenes multiespectrales de los satélites Landsat, de los años 1974, 1988, 1995, 2000, 2008 y 2008.

El análisis de las imágenes se realizó mediante el software MultiSpec®, realizando clasificaciones no supervisadas, se generaron clústeres de las imágenes compuestas. Luego se discriminaron aquellas clases que no correspondían al bosque manglar, esto basándose en los muestreos realizados previamente y a las firmas espectrales del bosque manglar y el agua.

Se determinó la cobertura del bosque manglar en diferentes años, siendo las siguientes: en 1974 la cobertura del bosque manglar era de 100 km²; 1988 la cobertura era de 64 km²; 1995 con cobertura de 67 km²; año 2000 con 73 km² de cobertura; año 2008 con 76 km² y año 2010 con 77 km². Los cambios en la distribución del bosque manglar se presentan en mapas dentro del documento.

II. OBJETIVOS

a. GENERAL

Determinar la dinámica del bosque manglar del departamento de Retalhuleu y el municipio de Ocós en San Marcos, durante el periodo 1974 - 2010.

b. ESPECIFICOS

1. Cuantificar el área actual del bosque manglar del departamento de Retalhuleu y el municipio de Ocós, San Marcos.
2. Determinar las variaciones del bosque manglar de Retalhuleu y del municipio de Ocós, San Marcos.
3. Identificar los factores que inciden en el cambio del bosque manglar.

III. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El ecosistema manglar manifiesta una flora típica especial, además, con algunos biotipos que se encuentran en sistemas naturales contiguos, por influencia que ejercen estas; entre ellas las comunidades halófitos y la de los bosques secos, que se encuentran rodeando ciertas partes del manglar, tanto en la parte continental como en el interior de las islas. (INRENA. 2007).

En Guatemala el bosque manglar ha sido tan diezmado a tal grado que algunos mapas de cobertura forestal ni siquiera reflejan los últimos reductos de este ecosistema, por otro lado, La zona de manglar en el departamento de Retalhuleu y el municipio de Ocos en San Marcos no es de gran extensión. Normalmente ocupa las riberas de esteros y lagunas y algunas pequeñas manchas aisladas, ya sea tierra adentro en lugares inundables, o en el centro de lagunetas y esteros, encontrándose las mayores áreas de este bosque en el humedal Manchón Guamuchal y en la Finca Chapán en Champerico.

Desde el año 1965 se han hecho estudios para determinar el área del bosque manglar del país, estimando áreas desde 12000 hasta 50000 hectáreas. (FAO 2005). A pesar que se han realizado once estudios para la cuantificación del bosque manglar, existen grandes diferencias en los resultados obtenidos, también la información existente no es actualizada.

La estimación de la dinámica del bosque manglar en el departamento de Retalhuleu permitirá establecer la cantidad de bosque manglar que existe en el área de estudio, también servirá para tomar decisiones en la implementación de

medidas de acción para la preservación y recuperación de áreas de mangle al identificar los factores que propician los cambios en dicho bosque.

IV. ANTECEDENTES

En la costa del Pacífico existen tres áreas que poseen “aún” manglar en cantidad considerable: Monterrico, Las Lisas y Manchón Guamuchal. (Gómez, 1995).

Los manglares de Guatemala han sufrido grandes alteraciones desde mediados de la década de 1950, por tal razón desde el año 1965 se han hecho estudios para cuantificar el área con bosque manglar, empleando para ello las metodologías y recursos disponibles en esos años. Las variaciones en los resultados en las diferentes investigaciones demuestran que no existe una estimación confiable para el bosque manglar, puesto que se tienen estimaciones de 12,000 hectáreas en 1996 y 50,000 en 1980. (FAO, 2005).

A inicios de la década de 1950 el gobierno del presidente Jacobo Arbenz emitió el decreto 901, que era la ley de reforma agraria, con el fin de formar productivas las tierras ociosas, esto provoco la colonización y parcelamiento de la mayor parte de la costa sur, que en esos años se encontraba cubierta por selva virgen (Sánchez, M. 1992)

Producto de esta reforma, los cambios en la cobertura forestal de la costa del pacífico guatemalteco se redujo drásticamente, hecho que cuantifico Morales, J. (1979), cuantificando para el año 1965, 578 Km² de este bosque, mientras que en el año de 1978 solamente contabilizo 96 Km².

El proceso de cambio de uso del suelo provocó degradaciones considerables en el bosque manglar, ya sea directamente por el uso del bosque

como fuente de productos maderables para vivienda y energéticos o indirectamente como consecuencia de la alteración de cursos de ríos, azolvamientos provocados por la erosión.

En el año 1979, Morales, J. determino el cambio del bosque manglar de los años de 1965, 1974 y 1978. Para ello empleo la fotointerpretación de fotografía aérea de 1965 escala 1:17,000, en 1974 empleo fotografía aérea escala 1:20,000, mientras que para el año 1978 empleo imágenes del satélite ERTS 1. (Landsat 1). Morales fue el pionero en la utilización de imágenes de satélite para la cuantificación del bosque manglar, aunque por el acceso a equipo informático de aquella época, el análisis lo realizo con sobreposición de materiales transparentes para la delimitación de los diferentes usos de la tierra.

Morales, J. (1979) determino que en el año 1965 el manglar del humedal Manchón Guamuchal tenía una extensión de 78.5 km² y para el año 1978 contabilizó 42.12 km²; mientras que Champerico tenía en el año 1978 4.4 km² de mangle.

Según Morales, J (1979) en el año 1965 existía en la costa del pacífico Guatemalteco 23,407 hectáreas de mangle, reduciéndose hasta 16,086 hectáreas para el año 1978, indicando que se redujo en un 31% la cobertura de este bosque en solo 13 años. El mismo autor también determino el uso del suelo de la costa sur de Guatemala siendo las áreas de pastoreo las que ocupan la mayor extensión con 178,500 hectáreas, seguido del cultivo del algodón con 117,000 hectáreas.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Zonas de vida

Holdridge expone que la temperatura y la precipitación son los principales factores limitantes para el desarrollo de las comunidades vegetales (Sánchez, M. 1992). El mismo autor indica que la zona de vida a la cual pertenecen los manglares del pacífico guatemalteco es el bosque seco tropical basal (bs-tb), esta clasificación es basada en las zonas de vida del doctor Holdridge, realizada por De la Cruz, J en 1982.

En Retalhuleu se tiene una temperatura media mensual de 27.01 grados Celsius, con precipitación promedio anual de 2946 mm distribuidos de mayo a octubre, aunque la zona donde se encuentra el bosque manglar la precipitación pluvial es inferior a 1500 mm. la humedad relativa media anual es de 67%.

Las condiciones climáticas de la zona donde se desarrolla el bosque manglar en el pacífico guatemalteco son casi constantes con temperaturas entre los 28 hasta los 35 grados Celsius y precipitaciones pluviales inferiores a los 800 mm anuales.

En los trópicos húmedos del plantea se encuentran comunidades vegetales complejas; a pesar que los bosques manglar se encuentran dentro de estas zonas de vida con estas condiciones, no poseen tal complejidad. (Sánchez, C. 1992). La baja complejidad en los bosques manglar se atribuye a las características de los suelos, ya que son suelos orgánicos que permanecen parcial o totalmente inundados, provocando una acumulación y descomposición

de detritus por vía anaeróbica, permitiendo la acumulación de sulfatos lo que disminuye los valores de pH. La acidez del suelo provoca la precipitación de la mayoría de nutrientes no asimilables, liberando el hierro y aluminio, formando compuestos tóxicos para la vegetación. Las características de anegamiento y toxicidad de los suelos de bosque manglar presentan un ambiente hostil para el desarrollo de especies vegetales, siendo estos factores de selección. (Christensen, 1988, citado por Sánchez, C, 1992).

1.2 El Bosque Manglar

Los manglares son formaciones boscosas que se desarrollan en los esteros de las regiones tropicales y subtropicales. Es aquí en los esteros donde ocurre la mezcla de agua dulce -proveniente de las escorrentías de las cuencas hidrográficas- con el agua salada –proveniente de las inundaciones periódicas del mar-, determinando un ambiente dinámico, en el que suceden a la vez los procesos de erosión y sedimentación (Sánchez, C. 1992).

Los manglares se distribuyen en zonas litorales, cubriendo gran parte de su línea de costa en tierra firme. En estos importantes ecosistemas tienen su hábitat un gran número de especies de la fauna, donde la biodiversidad adquiere un grado muy significativo; se caracterizan, además, por ser bosques protectores, a su papel como indicador muy importante del estado medio ambiental.

Según Sánchez C., (1992), la importancia de los manglares radica en tres aspectos, el primero es actuar como filtro de las escorrentías que llegan al mar, segundo, subsidian los ecosistemas litorales exportando materia orgánica y tercero, constituyen el hábitat de muchas especies animales.

Otro aspecto importante en el bosque manglar es que suministra madera para consumo domestico como combustible y construcción de viviendas, aunque su uso está regulado por el INAB.

1.2.1 Especies de mangle en Guatemala

Los manglares pueden dividirse en tres grupos, según sus características: los elementos mayores (manglares estrictos o puros), los elementos menores y las especies asociadas. Las especies de manglares estrictos: *Avicennia germinans*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, encontrando estas cuatro especies en Guatemala. (FAO. 2005)

1.2.1.1 *Rhizophora mangle*

a. Sistemática

Pertenece a la familia: Rhizophoraceae; al género: *Rhizophora* y a la especie: *R. mangle*. Los nombres comunes que se le dan a esta especie son: Mangle colorado, Mangle rojo.

b. Botánica

Se trata de un árbol perennifolio, halófito, de 1.5 a 15 m (hasta 30 m) de altura con un diámetro a la altura del pecho de hasta 50 cm. **Copa / Hojas.** Copa redondeada. Hojas opuestas, simples, pecioladas, elípticas a oblongas, aglomeradas en las puntas de las ramas, de 8 a 13 cm de largo por 4 a 5.5 cm

de ancho, coriáceas, lisas, gruesas; verde oscuras en el haz y amarillentas con puntos negros en el envés. **Tronco / Ramas.** Tronco recto. Ramas apoyadas en numerosas raíces aéreas de origen adventicio, simples o dicotómicamente ramificadas, con numerosas lenticelas. **Corteza.** Externa de color olivo pálido con manchas grises, pero si se raspa adquiere un color rojo, inodora, amarga, dura, de textura lisa a rugosa y apariencia fibrosa, se desprende fácilmente en escamas. Interna de color rojo intenso, granulosa (con alto contenido de fibras y esclereidas). La corteza forma lenticelas hipertrofiadas en las partes sumergidas de tallos y raíces. Grosor total: 20 a 30 mm. **Flor(es).** Inflorescencias simples, con 2 ó 3 flores, pedúnculos de 3 a 5 cm, flores actinomorfas; corola de 1.8 cm de diámetro; cáliz de 1.54 cm de diámetro; sépalos 4, persistentes, amarillos, coriáceos, gruesos, de 4.1 mm de ancho; pétalos 4 no persistentes, blancos o amarillentos en la base y moreno rojizos arriba, de 2.6 mm de ancho.

c. Ecología

Se trata de una especie halófila facultativa. Típicamente es la especie de mangle ubicada en la parte de mayor influencia salina (frente del manglar) y en la que el nivel de inundación es mayor, aunque se trata de una especie con buenas capacidades para explotar hábitats con condiciones particulares diversas, pudiendo habitar en sitios con baja disponibilidad de nutrientes y baja salinidad.

Figura 1. Detalle de hojas, flor y frutos de *R. mangle*



Fuente: OFI/CATIE

1.2.1.2 *Laguncularia racemosa*.

a. Sistemática

Esta especie pertenece a la familia: *Combretaceae* (Combretum), al género *Laguncularia* y a la especie *Laguncularia racemosa*. Comúnmente se le conoce con los nombres: White Mangrove, Mangle Blanco, palo de sal, sincahuite, vara blanca.

b. Botánica

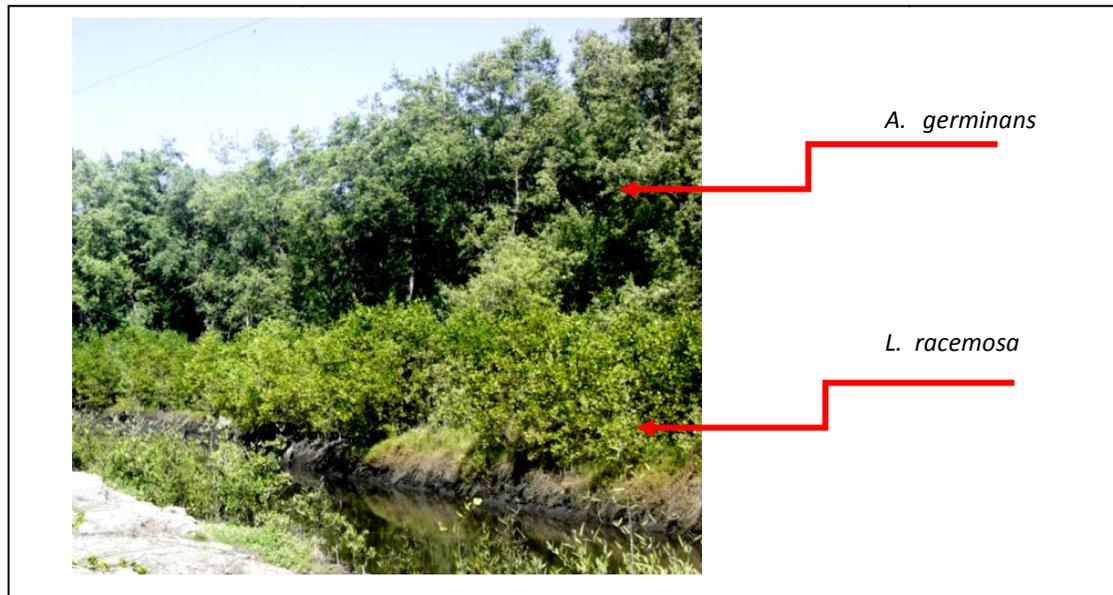
Se puede reconocer esta especie por las dos protuberancias (glándulas) que tiene sobre los peciolos de las hojas y por sus prominentes raíces de pilote. Las hojas son opuestas, elípticas, redondeadas en ambos extremos, de 4-10 cm de largo y 2.5-5 cm de ancho; son carnosas, ligeramente suculentas, sin

pelos o tricomas y sin venas visibles. Las flores se dan en espigas terminales y florecen de julio a octubre. Tiene frutos de forma almendrada, con una ranura y son, algunas veces, vivíparos.

c. Ecología

La regeneración natural en manglares se inicia en los bordes más próximos a los canales o esteros. A partir de allí, a medida que las especies colonizadoras aumentan la cobertura, se inicia un proceso de sucesión natural entre las especies de mangles. Una de las especies que inicia este proceso es *L. racemosa*, ya que es una especie oportunista, que tolera una gran insolación y presenta muchas semillas pequeñas, que flotan libremente durante mucho tiempo alcanzando lugares lejanos. Las semillas arraigan fácilmente con una elevada germinación, lo cual forma a menudo manchones de plántulas de esta especie, tanto bajo sol como a la sombra. En condiciones más extremas (mayor salinidad de 30 por mil o menor humedad) *L. racemosa* no podrá germinar, dejando la colonización en estos casos a *A. germinans* y *A. bicolor*, con quien comparte el interior del manglar, lejos de los bordes del estero o los canales, en zonas ligeramente más elevadas donde el flujo de la marea es menos aparente. También comparte zonas de estuario de ríos o formaciones de arena con *R. mangle*. Crece en una amplia variedad de suelos: arenosos, arcillosos o limosos.

Figura 2. Colonización de un canal por *L. racemosa* como especie pionera



Fuente: fotografía tomada por F. Espinoza (2011).

1.2.1.3 *Avicennia germinans*

a. Sistemática

Pertenece a la familia *avicenniaceae*, al género *Avicennia* y la especie es *Avicennia germinans* (L.). Se le conoce comúnmente como black mangrove, culumate, curumo negro, istatén, mangle negro, mangle prieto, mangle salado, mangle salsa, palo de sal.

b. Botánica

Flores y Fruto. Las flores se encuentran en inflorescencias axilares y terminales, con 1 a 15 pares de flores por espiga. Son pequeñas (de 1 a 2 cm de ancho), sésiles y con brácteas imbricadas. La corola tiene cuatro lóbulos. Los pétalos son amarillos o de color crema a blanco, por lo general con un color amarillento en la entrada del tubo de la corola. La fragante flor, que es polinizada por los insectos, tiene un ovario de dos células; cada lóculo contiene dos loculitas. La florescencia es esporádica a través del año, aunque se pueden observar máximos bien marcados. La madurez sexual se alcanza cuando las plantas tienen de 2 a 3 m de altura.

La especie se considera como vivípara debido a que la germinación ocurre cuando el embrión se encuentra todavía encerrado dentro del fruto. Una plántula distintiva se desarrolla antes de la caída del fruto del árbol progenitor. La expansión de los cotiledones y el desarrollo de hojas plumulares son evidentes. Tres de los cuatro óvulos son abortados, produciendo un fruto con una sola semilla. El fruto es oblongo o elíptico, con un peso aproximado de 1.1 g y una longitud promedio de 1.8 cm. Se han reportado árboles produciendo más de 300 frutos por año.

Las plántulas flotan al caer y son transportadas por las corrientes de las mareas. El propágulo desprende su pericarpio y produce raíces dentro de un período de 3 semanas después de la dispersión. Las plántulas de *Avicennia* pueden verse anegadas. El establecimiento se ve limitado a las áreas sobre el nivel del agua durante la marea baja. La turbulencia de las aguas inhibe el desarrollo de las raíces y las altas temperaturas del agua (de 39 a 40 °C) que duran por más de 48 horas son letales a las plántulas.

c. Ecología

El mangle negro crece en áreas inundadas por la marea con aguas saladas o salobres. Crece bien en bosques en hoyadas en suelos con un gran espectro de salinidad. El mejor desarrollo estructural se alcanza en los bosques ribereños tropicales. El mangle prieto crece también en las porciones internas con un menor flujo de los bosques ribereños y de las márgenes. En estas áreas, muestra una marcada preferencia por los suelos más altos y secos. En los límites de la distribución geográfica de los manglares, los mangles prietos ocupan la margen de los bosques (Jiménez, J.).

1.2.1.4 *Conocarpus erecta*

a. Sistemática

Pertenece a la familia *Combretaceae*, al género *Conocarpus* y a la especie *C. erecta*. Comúnmente es llamado botoncillo.

b. Botánica

Se trata de un árbol con ramas angulosas sarmentoso y achatado, puede alcanzar hasta los 15 metros de altura. Las hojas son alternas, pecioladas, estrechamente aovadas u obovadas, contraídas hacia la base; la inflorescencia es una panícula de 15-20 cm., de ancho; pedúnculos de las sendas cabezuelas de 1 cm. De largo; las cabezuelas floríferas tienen un diámetro de 8mm. Aproximado, mientras que en los conos fructíferos es de aproximadamente 1.5 cm.

Esta especie se reproduce por semilla, produce gran cantidad de frutos pero con muy pocas semillas viables, siendo la producción entre 4 y 10% (Morales, J. 1979).

c. Ecología

Esta especie se adapta a diferentes hábitats, por esa razón se le encuentra tanto rodeando los rodales de mangle de pantano en forma de brinzales o matorrales y también se puede encontrar asociado a diferentes especies. Se desarrolla en suelos no inundables, desarrollándose bien en suelos arenosos con poca materia orgánica % (Morales, J. 1979).

1.3 Percepción remota

La percepción remota se define como el grupo de técnicas para la obtención de información confiable sobre las propiedades físicas de ciertas superficies u objetos y su entorno, desde distancias relativamente grandes, sin contacto físico con ellos. Implica el analizar imágenes que son ampliamente procesadas e interpretadas para producir datos que pueden aplicarse en agricultura, geología, geografía, oceanografía y ecología, aunque también tiene fines militares. (CICEANA).

La percepción remota permite obtener información en tiempo real, con rapidez y en superficies muy extensas. Se puede obtener información sobre la temperatura y la fluorescencia de las capas superficiales de los cuerpos de agua, cambios de vegetación, cobertura de las nubes y el hielo del océano. (CICEANA).

La Percepción Remota en interconexión con otras técnicas y métodos actuales de captura, tratamiento, análisis y representación georreferenciada de información sobre los territorios, se presenta como una eficaz herramienta metodológica y tecnológica de amplia aplicabilidad a los estudios y la cartografía de la vegetación, incluyéndose en esta a los manglares, ya que estos por lo general se desarrollan en zonas de difícil acceso para los especialistas que realizan los trabajos de investigación in situ mediante métodos convencionales. (Álvarez, R. 2005).

El método de percepción remota está restringido a métodos que emplean la energía electromagnética como medio de detección y medida de las características de los objetos. Este tipo de energía incluye: la luz, el calor, las ondas de radio y excluye los estudios eléctricos, magnéticos y gravimétricos, que miden los campos de fuerza. (CICEANA).

1.3.1 Energía electromagnética

La energía electromagnética es toda energía que viaja a través del espacio de la luz (3×10^{10} cm/s). La onda consiste en un campo magnético y uno eléctrico, que son perpendiculares el uno al otro y a la dirección de la propagación de la onda. Se puede describir en los términos de la longitud de onda (λ), que es la distancia de la separación entre las crestas adyacentes de la onda, o de su frecuencia (f), que es el número de los picos de la onda que pasan por un punto fijo en una unidad de tiempo. Se expresa mediante la siguiente ecuación: **$\lambda f = C$** .

Donde “C” es la velocidad de la luz. La longitud de onda (λ) se mide en metros (m) o en fracciones de metros tales como nanómetros (nm, 10×10^{-9}).

metros), micrómetros (μm , 10×10^{-6} metros) o centímetros (cm, 10×10^{-2} metros). La frecuencia (f) se refiere al número de ciclos de una onda que pasa por un punto fijo en una unidad de tiempo. La frecuencia se mide normalmente en hertz (Hz), equivalentes a un ciclo por segundo, y varios múltiplos de hertz.

El espectro electromagnético, se extiende desde las longitudes de onda más cortas (incluyendo los rayos gamma y los rayos-X) hasta las longitudes de onda más largas (incluyendo microondas y las ondas de radio). Hay varias regiones del espectro electromagnético que son útiles para la percepción remota. (CICEANA).

La luz que nuestros ojos pueden detectar es parte del espectro visible, que es una pequeña porción en relación con el resto del espectro. Hay mucha radiación a nuestro alrededor que es "invisible" a nuestros ojos, pero se puede detectar por otros instrumentos de percepción remota. Las longitudes de onda visibles cubren un rango de aproximadamente 0,4 a 0,7 micrómetros. La longitud de onda visible más larga es roja y la más corta es violeta; siendo esta la única porción del espectro que podemos asociar con el concepto de colores. (CICEANA).

La región infrarroja (RI) cubre el rango de longitud de onda de aproximadamente 0,7 micrones a 14 micrones. La región infrarroja está segmentada en tres bandas clasificadas según los rangos de longitud de onda. Estas bandas son la infrarroja cercana que comprende desde los 0.7 micrones hasta los 1.3 micrones: la banda infrarroja media comprendida entre 1.48 hasta 2.8 micrones y la banda infrarroja lejana comprendida entre los 3-5 micrones y 8-14 micrones. Las microondas se encuentran desde 1 mm a 1 m. Ésta cubre las longitudes de onda más largas usadas para la percepción remota, en sistemas de radar. (CICEANA).

Tabla 1. Rango de longitud de onda del espectro electromagnético de la luz visible

Espectro	Longitud de onda (micrómetros)
Violeta	0.4 – 0.446
Azul	0.446 – 0.500
Verde	0.500 – 0.578
Amarillo	0.578 – 0.592
Naranja	0.592 – 0.620
Rojo	0.620 – 0.7

Fuente: CICEANA.

1.3.2 Interacción de la radiación con la superficie terrestre.

Bense, Q. (2007). explica que cuando la radiación incide sobre un objeto de la superficie terrestre pueden considerarse tres tipos fundamentales de interacciones, siendo estos la energía reflejada, la energía absorbida y la energía transmitida.

La energía incidente se fracciona en varios componentes, siendo todos estos componentes dependientes de la longitud de onda. La proporción de energía reflejada, absorbida o transmitida variará con los diferentes objetos, dependiendo del tipo de material que compone dichos objetos así como de su condición. Esto permite identificar diferentes objetos en una imagen. (Bense, Q. 2007).

El mismo autor indica que la fracción de energía que se refleja se denomina reflectividad o albedo (p); la fracción de energía que se absorbe se denomina absorptividad (α); la fracción de energía que se transmite se denomina transmisividad (t). Se cumple que: $p + \alpha + t = 1$.

La dependencia con la longitud de onda determina que la proporción de energía reflejada, absorbida y/o transmitida varíe para las diferentes longitudes de onda. Esto hace que dos objetos que pueden ser indistinguibles entre sí en un dado rango espectral puedan ser perfectamente diferenciados en otro rango. (Bense, Q. 2007).

1.3.3 La reflectancia en los vegetales

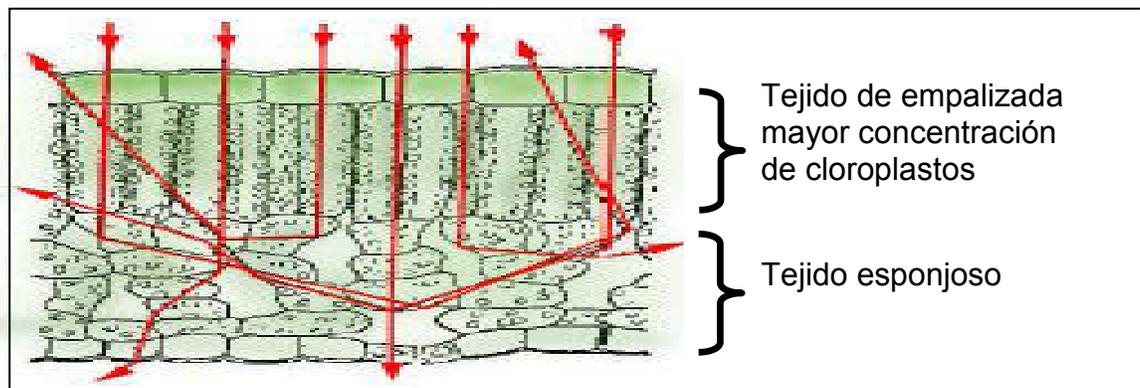
Las superficies interna y externa de las hojas están tapizadas por una simple capa de células epidérmicas carentes de clorofila y recubiertas por una delgada película de ceras. El tejido mesodérmico entre las dos epidermis está formado por dos capas; la capa superior contiene células oblongas dispuestas en forma regular y ordenada (tejido en empalizada). Estas células son ricas en las clorofilas tipo a y b que están contenidas en cuerpos subcelulares denominados cloroplastos, componentes predominantes del grupo de cromoplastos que también contienen pigmentos como xantofilas y carotenos (las clorofilas reflejan el verde, las xantofilas el amarillo, verde y rojo y los carotenos el rojo). La parte inferior del tejido mesodérmico es esponjoso, formado por células de forma irregular, flojamente empaquetadas, dejando entre ellas numerosos espacios intercelulares y cavidades de aire.

En la figura 3 se indican las posibles trayectorias para la radiación que atraviesa la hoja. Generalmente sólo una pequeña fracción de la radiación

incidente es reflejada directamente por la superficie externa pues la cutícula y la epidermis son casi transparentes al visible y al IR cercano.

Según Bense, Q. (2007), la reflectancia de los vegetales es usualmente relativamente baja en la región visible, con un máximo a aproximadamente $0.53 \mu\text{m}$, es decir en el verde. Aumenta bruscamente en el infrarrojo (IR) para luego caer a valores muy bajos a $2.5 \mu\text{m}$.

La Figura 3. Corte transversal de una hoja, mostrando la estructura interna, sus orgánulos y la trayectoria de la energía electromagnética incidente



Fuente: Bense, Q. 2007

La baja reflectancia en el visible se atribuye a la elevada absorción de los pigmentos vegetales, principalmente clorofila. Estos pigmentos, sin embargo, son altamente transparentes a la radiación IR, y la elevada reflectancia en dicha región estaría determinada por la estructura interna de la hoja. Los mínimos de reflexión a 1.45 , 1.95 y $2.5 \mu\text{m}$ corresponden a la elevada absorción de las moléculas de agua presentes en la hoja. (Bense, Q. 2007).

Otra fracción de radiación puede ser transmitida directamente a través de la hoja. Finalmente, el resto de la radiación sufre interacciones con la estructura

interna de la hoja. . Parte de ella puede ser absorbida por los pigmentos de la hoja, pero una fracción importante sufre reflexiones y refracciones múltiples en el tejido esponjoso debido a la sensible diferencia de índices de refracción entre el aire ($n=1.0$) y las paredes de las células hidratadas ($n=1.3$). (Bense, Q. 2007).

Como consecuencia de tales reflectancias parte de la radiación vuelve hacia atrás, pudiendo emerger como radiación reflejada. Como la clorofila es transparente al IR cercano la hoja refleja intensamente dicho rango espectral (en dicha región típicamente es reflejado un 40-50% de la radiación incidente en la hoja (Bense, Q. 2007).

Según Bense (2007), las características espectrales de la radiación reflejada por una hoja en la región visible depende fundamentalmente de la absorción de radiación por parte de los pigmentos de la hoja, mientras que en el IR cercano, en la región de 0.7 a 1.3 μm , es consecuencia primaria de la estructura interna de la hoja. Para valores superiores a 1.3 μm aparecen mínimos de reflectancia a 1.4, 1.9 y 2.7 μm asociados a las bandas de absorción del agua.

1.3.4 Reflectancia del agua

El agua absorbe intensamente en el IR cercano: los cuerpos de agua aparecerán en dicha región como cuerpos oscuros, facilitando su observación y delineamiento. Para longitudes de onda visibles hay factores que complican la interpretación. En efecto, la reflectancia de un cuerpo de agua puede generarse por interacción con la superficie (reflexión especular), con material en suspensión o con el fondo mismo del cuerpo de agua (Bense, Q. 2007).

El agua clara absorbe poca energía con longitudes de onda por debajo de 0.6 μm , pero a medida que aumenta la turbidez la reflectancia en el visible aumenta rápidamente. Igualmente la presencia de clorofila (algas, fitoplancton) modifica la reflectancia del agua, efecto que se aplica al monitoreo por percepción remota de concentraciones de algas (Bense, Q. 2007).

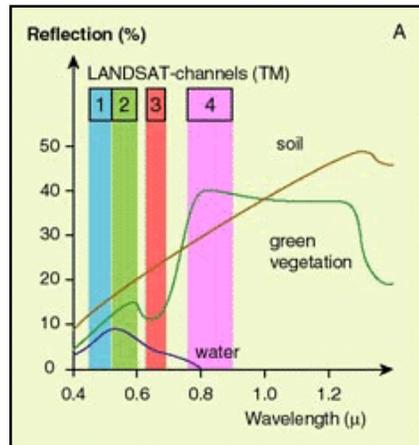
1.3.5 Reflectancia de los suelos

La curva de reflectancia espectral de suelos es más monótona que la de la vegetación. Entre los factores que afectan la reflectancia del suelo son: el contenido de humedad, su textura, rugosidad, presencia de materia orgánica y contenido de óxido de hierro. El contenido de humedad está estrechamente ligado a la textura: los suelos arenosos, de partículas grandes, usualmente están bien drenados, resultando con baja humedad y relativamente alta reflectancia. La inversa ocurre con los suelos mal drenados. La rugosidad y la materia orgánica, así como el óxido de hierro disminuyen la reflectancia del suelo, a lo menos en la región visible (Bense, Q. 2007).

1.3.6 Firmas espectrales

Diferentes tipos de superficies, como el agua, la tierra desnuda o la vegetación, reflejan la radiación de manera distinta en varios canales. La radiación reflejada en función de la longitud de onda se llama firma espectral de la superficie. (ESA).

Figura 4. Firmas espectrales del suelo, la vegetación y el agua en los canales 1-4 del sensor TM de LANDSAT



Fuente: European Space Agency (ESA)

1.4 Imágenes de satélite

Las imágenes de satélite permiten monitorear la variación espacial y temporal de las zonas de mangle y estudiar los diferentes estados de crecimiento de una misma especie de mangle. (Álvarez, R. 2005).

1.4.1 Resolución de imagen

Los sistemas de percepción remota difieren en la resolución, es decir, el nivel de detalle con que pueden capturar las imágenes, considerándose cuatro diferentes tipos de resolución: espacial, espectral, radiométrica y temporal.

a) La Resolución espacial: se refiere al área que cubre un píxel de una imagen, siendo directamente responsable del nivel de detalles visibles en una imagen; cuanto menor es el área terrestre representada por cada píxel en una

imagen digital mayores son los detalles que pueden ser captados y mayor es la resolución espacial, considerándose tres diferentes resoluciones espaciales (baja, mediana y alta. Ej.: MODIS 1.1 km, LANDSAT-7, 15m y QUICKBIRD, 0.60m. Existen diferentes factores que influyen en la resolución espacial: además de los obviamente asociados al sensor, como ser el poder resolutivo del sistema óptico, debemos considerar las influencias atmosféricas, presencia de humo, neblina, bajos niveles de iluminación.

b) La resolución espectral: es la capacidad que tiene el sensor de captar imágenes en determinados rangos de longitudes de onda denominados bandas o canales. Dependiendo de la aplicación pueden seleccionarse sensores con bandas relativamente estrechas o anchas. La resolución espectral se refiere al número y ancho de las bandas espectrales registradas por un sensor. Cuanto más estrechas sean estas bandas mayor será la resolución espectral.

c) La resolución radiométrica: hace referencia al número de niveles digitales utilizados para expresar los datos recogidos por el sensor. En general, cuando mayor es el número de niveles mayor es el detalle con que se podrá expresar dicha información.

d) La Resolución Temporal: es una medida de la frecuencia con la que un satélite es capaz de obtener imágenes de una determinada área. También se denomina intervalo de revisita. Altas resoluciones temporales son importantes en el monitoreo de eventos que cambian en períodos relativamente cortos, como inundaciones, incendios, calidad del agua en el caso de contaminaciones, desarrollo de cosechas, etc. Asimismo, en áreas con cubiertas nubosas casi constantes como por ejemplo las selvas tropicales, períodos cortos de visita, es decir altas resoluciones temporales, aumentan la probabilidad de obtener imágenes satisfactorias.

1.4.2 Satélites Landsat

El programa LANDSAT, desarrollado por la National Aeronautics and Space Administration-NASA, fue originalmente denominado Earth Resources technology Satélite - ERTS. Fue el primer programa de satélites de percepción remota para observación de los recursos terrestres.

El primer satélite, de carácter experimental, fue construido para demostrar la viabilidad de mapear y monitorear rasgos de la superficie de la Tierra a partir de imágenes orbitales. Este programa fue desarrollado con el objetivo de posibilitar la adquisición de imágenes de la superficie de la Tierra de manera global y repetitiva.

El 23 de julio de 1972, la NASA lanzó el primer satélite Landsat 1 originalmente llamado "ERTS 1" Earth Resources Technology Satélite 1. Fue el primer satélite de observación de la tierra con la intención de estudiar y vigilar masas de tierra de nuestro planeta, estuvo en función hasta enero de 1978. Las imágenes proporcionadas por este satélite están compuestas por cuatro bandas, una verde, una roja y dos infrarrojas, con resolución espacial de 60 metros.

Los Satélites subsecuentes (Landsat 2-7) fueron lanzados en 1975, 1978, 1982, 1984, 1993 y 1999. Cada satélite sucesivo ha mejorado sus capacidades de comunicación y sensores.

Los satélites Landsat han utilizado dos tipos de sensores: el Rastreador Multiespectral (MSS) y el Mapeador Temático (TM). Los sensores MSS y TM detectan la radiación reflejada de la Tierra en la longitud de onda visible y de IR; el MSS se utilizó en los Landsat 1-5, mientras que el sensor TM fue utilizado en

los Landsat 4-7, por que provee más información radiométrica que el sensor MSS.

El sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM) es un sensor a bordo del satélite Landsat 7, ha adquirido imágenes de la Tierra casi sin interrupción desde julio de 1999, con un ciclo de repetición de 16 días. (EROS). Un mal funcionamiento del instrumento se produjo el 31 de mayo 2003, como resultado, todos los datos del Landsat 7 hasta la actualidad se recogieron en el modo de SLC-off. (EROS)

Tabla 2. Descripción de las fechas de lanzamiento y fin de operación de los satélites LANDSAT

SATÉLITE	LANZAMIENTO	FIN DE OPERACIÓN	SISTEMAS SENSORES
ERTS-1	23 /06/ 1972	05 /01 /1978	MSS e RBV
LANDSAT-2	22 / 01 / 1975	27 / 07 / 1983	MSS e RBV
LANDSAT-3	05 / 03 / 1978	07 / 09 / 1983	MSS e RBV
LANDSAT-4	16 / 07 / 1982	fin de 1983	MSS e TM
LANDSAT-5	01 / 03 / 1984	en operación	MSS e TM
LANDSAT-6	03 / 10 / 1993	03 / 10 / 1993	ETM
LANDSAT-7	1998	En operación	ETM y HRMSI

Fuente: Álvarez, R. 2005

Tabla 3. Características espectral y espacial de las imágenes de los satélites LANDSAT

Satélite	Sensor	Rango espectral micras	Banda No.	Escena Tamaño Km	Pixel Resolución metros.
L 04/01	SMS multi-espectral	0,5 a 1,1	1, 2, 3, 4	185 X 185	60
L 05/04	TM multiespectral	0,45 a 2,35	1, 2, 3, 4, 5, 7		30
L 05/04	TM térmica	10,40 a 12,50	6		120
L 7	ETM + multiespectral	0,450 a 2,35	1, 2, 3, 4, 5, 7		30
L 7	ETM + térmica	10,40 a 12,50	6.1, 6.2		60
L 7	Pancromático	0.52-0.90	8		15

Fuente: Gloval Land Cover Facility (GLCF)

Las imágenes de Landsat ETM están integradas por ocho bandas espectrales, con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 5 y la banda 7. La resolución de la banda de 6H/6L (infrarrojo térmico) es de 60 metros. La resolución de la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. El tamaño aproximado de escena es de 170 km de norte a sur por 183 km de este a oeste (106 millas por 114 millas). (EROS)

**Tabla 4. Características espectral y espacial de las bandas del sensor
Enhanced Thematic Mapper Plus del Satélite LANDSAT-7**

No	Banda	Rango Espectral μ	Resolución espacial (m)
1	Azul	0.450-0.515	30
2	Verde	0.525-0.605	30
3	Rojo	0.630-0.690	30
4	IR cercano	0.775-0.900	30
5	IR medio	1.550-1.750	30
6	IR térmico	10.40-12.50	60
7	IR medio	2.090-2.350	30
8	Pancromática	0.520-0.900	15

Fuente: Álvarez, R. 2005.

1.4.3 Imágenes de alta resolución

En la actualidad se encuentran en órbita satélites que ofrecen imágenes de alta resolución espacial y temporal, siendo adecuados para estudios a detalle.

1.4.3.1 Geoeye 1

Este satélite fue lanzado el 6 de septiembre de 2008 iniciando la comercialización de imágenes el 5 de febrero de 2009. GeoEye-1 es capaz de adquirir datos de la imagen en 0.41 metros por píxel en pancromática y 1.65 metros en multiespectral. También cuenta con un tiempo de revisita de menos

de tres días, así como la capacidad de localizar un objeto dentro de apenas tres metros de su ubicación física.

Tabla 5. Especificaciones espectrales y espaciales de las imágenes de GEOEYE 1

Pancromática	0.41 x 0.41 metros
Multiespectral	1.65 x 1.65 metros
Rango Espectral	450 a 800 nm (Pancromática) 450 a 510 nm (azul) 510 a 580 nm (verde) 655-690 nm (rojo) 780 a 920 nm (infrarrojo cercano)
Ancho de barrido	15.2 km
Revisita	Menos de 3 días
Altura de órbita	681 km

Fuente: Geoeye

1.4.3.2 IKONOS

El satélite IKONOS fue lanzado el 24 de septiembre de 1999. IKONOS, deriva de la palabra griega para la imagen, es el primer satélite comercial que sea capaz de recoger imágenes con una resolución de 82 centímetros en pancromático y las imágenes multiespectrales con resolución de 4 metros.

Tabla 6. Especificaciones espectrales y espaciales de las imágenes de IKONOS

Resolución espacial	0,82 metros x 3,2 metros
Rango espectral	526-929 nm (pancromático) 445 a 516 nm (azul) 506 a 595 nm (verde) 632-698 nm (rojo) 757 a 853 nm (infrarrojo cercano)
Ancho de barrido	11.3 km
Revisita	3 días aproximadamente
Altitud de orbita	681 km

Fuente: Geoeye

1.4.3.3 QuickBird

Es un satélite de DigitalGlobe, lanzado el 18 de octubre de 2001, tiene una altura orbital de 450 km. Adquiere imágenes de alta resolución, con una revisita de 2 a 3 días, con un ancho de barrido de 16.5 km. Proporciona imágenes con resolución espacial 61 centímetros en pancromático y longitud entre los 445 a 900 nm, mientras que en imágenes multiespectrales tiene resolución espacial de 2.4 metros, con rango espectral que va desde el azul: 450 - 520 nanómetros Verde: 520 - 600 nanómetros; Rojo: 630 a 690 nanómetros e Infrarrojo cercano: 760 - 900 nanómetros. (DigitalGlobe).

1.5 Procesamiento de imágenes satelitales

El procesamiento de las imágenes digitales consiste en la manipulación numérica de dichas imágenes e incluye: el Pre-procesamiento, el Realce y la Clasificación (Bense, Q. 2007).

1.5.1 Pre-procesamiento

Consiste en el procesamiento inicial de los datos crudos para corregir las distorsiones radiométricas y geométricas de la imagen y eliminar el ruido.

Las distorsiones radiométricas obedecen a mecanismos que alteran los valores de brillo de los píxeles y se deben fundamentalmente a interferencias atmosféricas y a efectos asociados a la instrumentación. Las correcciones atmosféricas constituyen un problema muy complejo si se quieren aplicar sobre la base de modelos físicos del comportamiento de las radiaciones. Una forma sencilla y práctica a la corrección del efecto atmosférico se basa en la consideración de los histogramas de las imágenes espectrales. Un histograma es un gráfico o tabla que muestra el número de píxeles f (DN) de una imagen que poseen un valor DN (Bense, Q. 2007).

Las distorsiones geométricas responden a muy diversas causas y pueden clasificarse en sistemáticas y no sistemáticas. Las principales causas de distorsiones geométricas sistemáticas son las siguientes: a) Sesgo de escaneado: causado por el movimiento de avance de la plataforma durante el tiempo requerido para cada barrido del espejo (sistemas whiskbroom). La línea de barrido sobre el terreno no es normal a la proyección de la trayectoria sino que resulta ligeramente oblicua, produciendo una distorsión geométrica

cruzada con la trayectoria; b) Velocidad del espejo de escaneado. La velocidad de éste usualmente no es constante durante un dado ciclo, produciendo una distorsión geométrica a lo largo del escaneado; c) Efecto panorámico y curvatura terrestre. El efecto panorámico deriva del hecho de que como para los sensores de las plataformas satelitales el IFOV angular es constante, el tamaño del pixel sobre el terreno será mayor en los extremos de la oscilación que en el nadir. También la curvatura terrestre conduce a un efecto similar, aunque para satélites de barrido poco extenso, como el LANDSAT (185 km) o el SPOT (120 km) el efecto es despreciable, a diferencia de lo que ocurre con los NOAA, con 2700 km de FOV (Bense, Q. 2007).

1.5.2 Realces

Son procedimientos que tienden a mejorar la interpretabilidad visual de una imagen, aunque no aumentan la cantidad de información contenida en ella. El rango de opciones de que dispone el analista para realces de imagen es virtualmente ilimitado, aunque la mayoría de estas técnicas pueden ubicarse en dos grupos: operaciones de punto, que modifican independientemente el brillo de cada pixel y operaciones locales, que modifican el valor de cada pixel basadas en el valor de los pixeles vecinos. Dentro de las primeras citaremos algunas como estiramiento de contraste y manipulaciones espectrales, y entre las segundas el filtrado espacial (Bense, Q. 2007).

1.5.2.1 Estiramiento de contraste

Este procedimiento involucra un cambio de forma del histograma reasignando los valores de los pixeles. En el estiramiento de contraste lineal, el

rango de valores iniciales de los píxeles es expandido hasta obtener el rango máximo de 0 a 255. Al expandir la escala de grises se logra realzar detalles sutiles de la imagen, difíciles de discriminar con la compresión inicial de la imagen (Bense, Q. 2007).

1.5.2.2 Filtrado espacial

Las operaciones de contraste realizadas en el estiramiento de contraste no alteran los datos de la imagen, simplemente modifican su visualización. En el filtrado espacial los datos de la imagen son modificados en el que el valor de un píxel en una dada ubicación es cambiado en función de los valores de los píxeles vecinos.

En percepción remota las imágenes se caracterizan por un parámetro denominado frecuencia espacial. Esta puede definirse como el número de cambios que ocurren en el valor del píxel (o brillo) por unidad de distancia para alguna región particular de la imagen. Si sobre una dada área de la imagen ocurren pocos cambios de brillo se considera como un área de baja frecuencia (ej. grandes extensiones agrícolas, cuerpos de agua extensos, etc.)

Según Bense (2007) cuando los cambios de brillo son numerosos y notorios se tendrá un área de alta frecuencia (calles o caminos en zonas urbanas, parcelas agrícolas pequeñas, etc.). En las imágenes de percepción remota la frecuencia espacial puede realizarse o deprimirse según la conveniencia del analista utilizando el filtrado espacial.

1.5.2.3 Combinaciones de bandas

Debido a que las imágenes satelitales suelen ser multiespectrales, es decir que son registradas simultáneamente en varias regiones del espectro electromagnético. Estas imágenes pueden ser estudiadas individualmente en escalas de grises o en imágenes coloreadas obtenidas a partir de las primeras.

Las imágenes a color se generan según el modelo de color RGB (del inglés Red, Green, Blue). Este hace referencia a la composición del color en términos de la intensidad de los colores primarios con los que se forma: el rojo, el verde y el azul. Es un modelo de color basado en la síntesis aditiva, siendo esta la mezcla por adición de dichos colores primarios. Para indicar en qué proporción se mezcla cada color se asigna un valor a cada uno de los colores primarios. (Bense, Q. 2007).

El mismo autor indica que para un display de computadora de 8 bits por pixel el rango de valores posibles (o sea de DN) para cada componente de color es de 0 a 255. En consecuencia existirán $256^3 = 16.777.216$ combinaciones posibles de rojo, verde y azul

Combinación RGB 3,2,1: Esta combinación suele llamarse “color natural” pues involucra a las tres bandas visibles y se le asigna a cada una de ellas su verdadero color, resultando una combinación que se aproxima a los colores naturales de la escena. La vegetación aparece en diversos tonos de verde y los suelos en colores marrones o tostados. Además, las bandas visibles tienen buena penetración en los cuerpos de agua y esta combinación permite observar detalles en agua poco profundas (turbidez, corrientes, batimetría, plumas de sedimentos, etc.).

Combinación RGB 5,4,3: Constituye una “simulación” del color natural, pese a utilizar 2 bandas infrarrojas.

Combinación RGB 4,3,2: Esta combinación suele llamarse “falso color infrarrojo” pues los colores resultantes en la imagen son similares a los de las fotografías obtenidas con film infrarrojo color. Al asignar el rojo a la banda 4 (NIR) resultará que todos los tonos de rojo, desde el rojo muy oscuro al rosado pálido corresponden a vegetación: los tonos más oscuros se relacionan con la presencia de vegetación arbórea densa, como bosques, montes, etc., pudiéndose identificar algunas especies como pinos y eucaliptos. Rojos claros indican cultivos y praderas vigorosas. Esta combinación resulta ad hoc para diferenciar coberturas vegetales en nuestro caso el bosque manglar pues este bosque no es caducifolio a diferencias de algunas especies forestales de la zona que se estresan por la falta de humedad durante la estación seca.

Combinación RGB 4,5,3: Al asignarle el color rojo a la banda 4 (infrarroja cercana) esta banda va a tener ciertas similitudes con la combinación RGB 4,3,2. Sin embargo, al dar más peso a la región infrarroja (bandas 4 y 5) se ve realzada la diferencia de humedad en suelos y vegetales. Generalmente cuanto mayor es la humedad del suelo más oscuro aparecerá éste.

1.6 Análisis de imágenes digitales

En teledetección se realizan estudios que abarcan grandes extensiones, donde se necesita clasificar los elementos captados en las imágenes. Es un proceso que de realizarlo manualmente consumiría gran parte del tiempo destinado para un proyecto.

La clasificación en teledetección es un caso particular del problema general de clasificar N individuos en un conjunto de K clases en función de una serie de variables (X_1, X_2, \dots, X_n) . Para resolver este problema se necesita una medida de la semejanza o diferencia entre los diferentes individuos y entre los individuos y las clases. Dos individuos muy parecidos pertenecerán con toda seguridad a la misma clase, mientras que dos individuos distintos pertenecerán a diferentes clases.

Puesto que en la práctica es difícil saber con certeza a que clase corresponde cada uno de los pixeles que componen una imagen, el problema de la clasificación se convierte en un problema de probabilidad de pertenencia a cada una de las clases de un conjunto, por tanto se suelen usar métodos estadísticos.

1.6.1 Análisis de componentes principales

Se usa para resumir la información contenida en las bandas e incluso eliminar alguna del análisis. Generar clases y firmas espectrales características.

Según Bense (2007), un problema frecuente en el análisis de imágenes multiespectrales es el de la correlación existente entre las bandas de la imagen, las cuales contienen mucha información redundante. Esta no aporta nada nuevo y aumenta enormemente la carga computacional cuando dichas imágenes son sometidas a procesos matemáticos.

La técnica de Análisis por Componentes Principales (PCA, Principal Components Analysis) es una transformación que permite reducir esta

redundancia y puede ser aplicada previamente a un análisis visual o a un proceso más complejo de clasificación a través de algoritmos matemático-estadísticos. El propósito de esta técnica es “comprimir” toda la información contenida en un conjunto original de N bandas espectrales a un conjunto menor de nuevas bandas o componentes

1.6.2 Clasificación no supervisada.

Se utilizan algoritmos matemáticos de clasificación automática. Los más comunes son los algoritmos de *clustering* que divide el espacio de las variables en una serie de regiones de manera que se minimice la varianza interna de los píxeles incluidos en cada región. Cada región define de este modo una clase espectral.

1.6.3 Clasificación supervisada

Es un procedimiento en el que se seleccionan áreas de entrenamiento para clasificación supervisada. Las áreas de entrenamiento se conocen a priori la clase a la que pertenecen y que servirán para generar una signatura espectral característica de cada una de las clases. Las áreas de entrenamiento deben ser lo más homogéneas posibles y en las que sepamos lo que había el día que se tomó la imagen. Por ello esta operación se realiza el mismo día en el que el satélite toma la imagen y luego se compra esta. Otra posibilidad es utilizar fotografía aérea o información de otro tipo.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiales y equipo

Para la ejecución de la investigación de campo fue necesario contar con libreta de campo la cual era pasta dura y de tamaño pequeño para portarla en el bolsillo, debido a que se trabajó en un ambiente rodeado de agua se utilizó lápiz HB para las anotaciones, evitando el corrimiento de tinta si la libreta se sumergía accidentalmente al agua.

Se contó con un navegador GPS marca Etrex de la serie H, para ubicación de mangle en el muestreo.

Puesto que se trabajó con imágenes de satélite de grandes dimensiones fue necesario contar con equipo de cómputo con gran capacidad de procesamiento siendo la siguiente configuración: Procesador Intel Core 2 Duo 2.93 GHz, RAM 2 GB. 200 GB de espacio en HD, Monitor de 19 pulgadas.

Para la movilización hacia la zona de estudio se utilizó un vehículo automotriz de doble tracción, mientras que para la movilización dentro de la zona de estudio se contó con una lancha con capacidad para tres personas, la cual era impulsada a remo y vara.

Para el análisis de los datos se utilizaron diferentes software siendo estos: Multispec ® para la manipulación de imágenes, Kosmo y ArcGIS, para el análisis vectorial y generación de mapas.

2.2 Métodos y procedimientos

La metodología para la estimación de la dinámica espacio-temporal del bosque manglar se realizó de la siguiente forma:

2.2.1 Delimitación el área de estudio

Se identificó y delimito el área de estudio, la cual comprendía la línea costera del departamento de Retalhuleu y parte del municipio de Ocos, San Marcos. Para esto se utilizaron las capas de disponibles en el portal IDE de SEGEPLAN, Guatemala. Las capas que se utilizaron fueron: capa de departamentos, capa de ríos, capa de poblados, capa de municipios. El mapa del área de estudio se presenta en la figura 22 en anexos.

2.2.2 Obtención de imágenes de satélite

Las imágenes de satélite se descargaron de la página de Earth Science Data Interface (ESDI) a la cual se accede por la página de Global Land Cover Facility (GLCF). De esta página se obtuvieron las imágenes de 1974, 1988, 1995, 2000 y 2008, mientras que la imagen del año 2010 se descargo de la página de GLOVIS, del U.S. Geological Survey USGS. (ver Tabla 7).

Tabla 7. Descripción de las imágenes Landsat utilizadas para el proyecto

Sensor	Captura De imagen	Referencia De imagen	Productor	Atributos	Ubicación
MSS	15/02/1974	p022r50_1m19740215	EarthSat	Ortho, GeoCover	Guatemala, México
TM	30/12/1988	p021r50_4t881230	EarthSat	Ortho, GeoCover	Guatemala, México
TM	02/09/1995	5021050_05019950209	USGS	L1T	Guatemala, México
ETM+	15/02/2000	p021r050_7t20000215_z15	EarthSat	Ortho, GeoCover	Guatemala, México
ETM+	25/04/2008	L71021050_05020080425	USGS	Ortho, GLS2005	Guatemala, México
ETM+	16/12/2010	L72021050_05020101211	USGS		Guatemala, México

Fuente: Elaborado por el Autor

a. Tratamiento de imágenes

Debido a que las imágenes ya se encuentran rectificadas no se realizó ninguna corrección geométrica. Se realizó un estiramiento lineal de las imágenes para mejorar su resolución radiométrica.

2.2.3 Muestreo

Con base en fotografía aérea del año 2006 se realizó un muestreo, ubicando áreas homogéneas en tonalidad y textura. Con un navegador GPS se

ubicaron los puntos y se identifico el punto con la especie de mangle a la cual pertenecía la textura.

2.2.4 Análisis de las imágenes

Se combinaron las bandas del infrarrojo cercano, logrando con esto diferenciar la superficie cubierta por bosque manglar, el agua y el suelo desnudo. Se realizo un recorte de la imagen para tener el área de estudio y despreciar el resto de la imagen, puesto que en la clasificación de imágenes se lleva mucho tiempo.

Debido a que no se podía conocer a exactitud la especie de mangle no se realizo una clasificación supervisada, realizándose una clasificación no supervisada, generando 30 clúster. Luego de generar los clúster se procedió a excluir aquellas clases que no correspondían al manglar, dejando en la imagen solamente aquellas que pertenecían a dicho bosque.

2.2.5 Generación de mapas

2.2.5.1 Mapa de coberturas vegetales

Después de realizar la clasificación no supervisada se generaron 30 clases, excluyendo luego las clases que no hicieran referencia al bosque manglar, realizándose muestras para obtener las firmas espectrales de cada superficie, con esto se identificó cada superficie. Esto se realizó en las áreas en las que era posible la identificación de la cobertura, siendo estas, suelo desnudo y pastizales secos, áreas boscosas (causes de ríos), mangle

(Manchón Guamuchal y Chapan en Champerico), agua (esteros y océano); ver figura 5. Con este procedimiento se realizaron los mapas de cobertura del bosque manglar para los diferentes años en estudio.

El sistema de coordenadas adoptado fue UTM, el área de estudio corresponde a la Zona 15 latitud norte y el datum empleado fue WGS 1984.

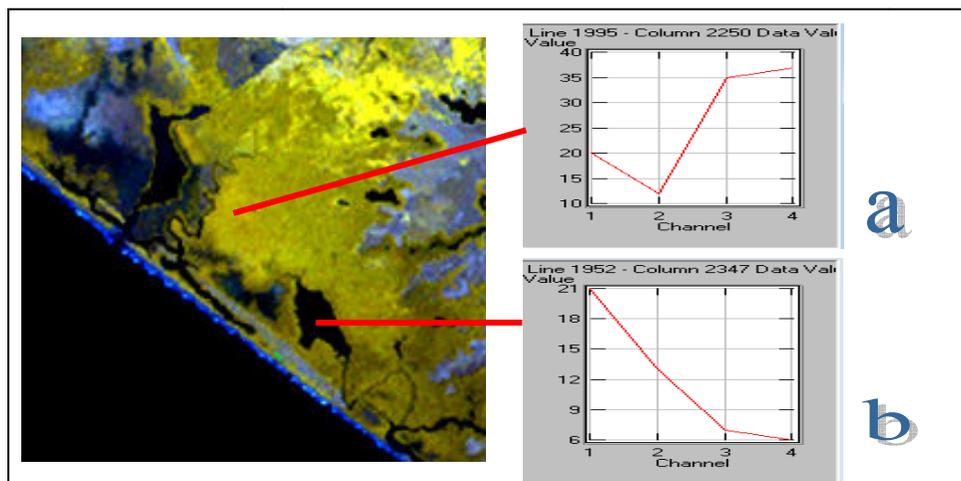
3. RESULTADOS

3.1 Cobertura del bosque manglar en 1974

Se tomaron muestras de reflectancia de algunas coberturas, siendo estas el agua y el bosque manglar.

En la figura 5 se puede observar que el agua presenta una alta reflectancia en la banda 1 (imagen MSS de 1974) que corresponde al verde, mientras que presenta una absorción hacia el infrarrojo –figura 5b-. En el caso del mangle, presenta una alta reflectancia en las bandas del infrarrojo y en menor grado en la banda correspondiente al color verde (bandas 4, 3 y 1 respectivamente), mientras que el rojo es absorbido (banda 2) –ver figura 5a)

Figura 5. Respuesta espectral del mangle y el agua en el Manchón Guamuchal imagen Landsat MSS de 1974



Referencias: a) Mangle, b) Agua.

Fuente: Elaborado por el Autor (2011).

Para los sensores multi-espectrales (mss), la clasificación supervisada resulta difícil de realizar por la resolución de las imágenes (60 metros por pixel), se observan mejores resultados con la clasificación no supervisada generando clústeres, puesto que en este proceso se agrupa los pixeles con valores de reflectancia o números digitales similares.

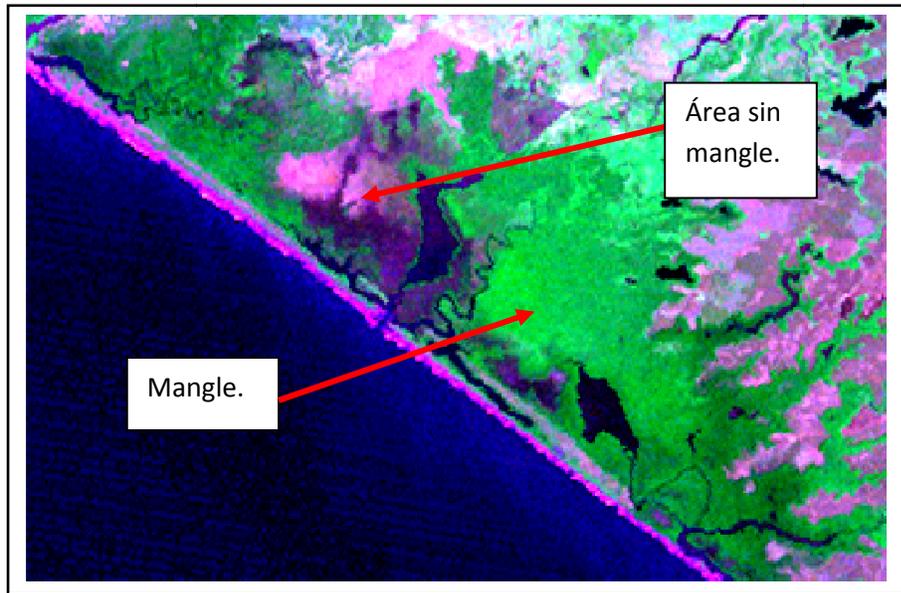
Para la clasificación, puesto que se desconocía la distribución del bosque manglar no se realizó una clasificación supervisada, puesto que es necesario conocer las superficies para crear con estas áreas de entrenamiento que utilizara el software para clasificar el resto de pixeles.

En 1974 se cuantificó 100.81 kilómetros cuadrados de bosque manglar en los municipios de Ocos, San Marcos; Retalhuleu y Champerico en Retalhuleu.

En 1974 en el Manchón Guamuchal existían 75 km² de bosque manglar, mientras que el bosque manglar de finca Chapan cubría 4.4 km²; el mayor cambio se identificó en el Manchón Guamuchal puesto que Morales, J. (1979) cuantificó 78 km cuadrados de este bosque en 1965 y 42 en 1978, usando fotografía aérea de 1965 y una imagen del satélite ERTS 1 (Landsat 1) de 1978 respectivamente, sin embargo no contaban con las herramientas ofimáticas para analizar las imágenes, por otro lado, el bosque en la finca Chapán no sufrió cambios en este lapso.

En la figura 6 y 7 se observa que en la parte central del humedal Manchón Guamuchal existían grandes áreas sin mangle.

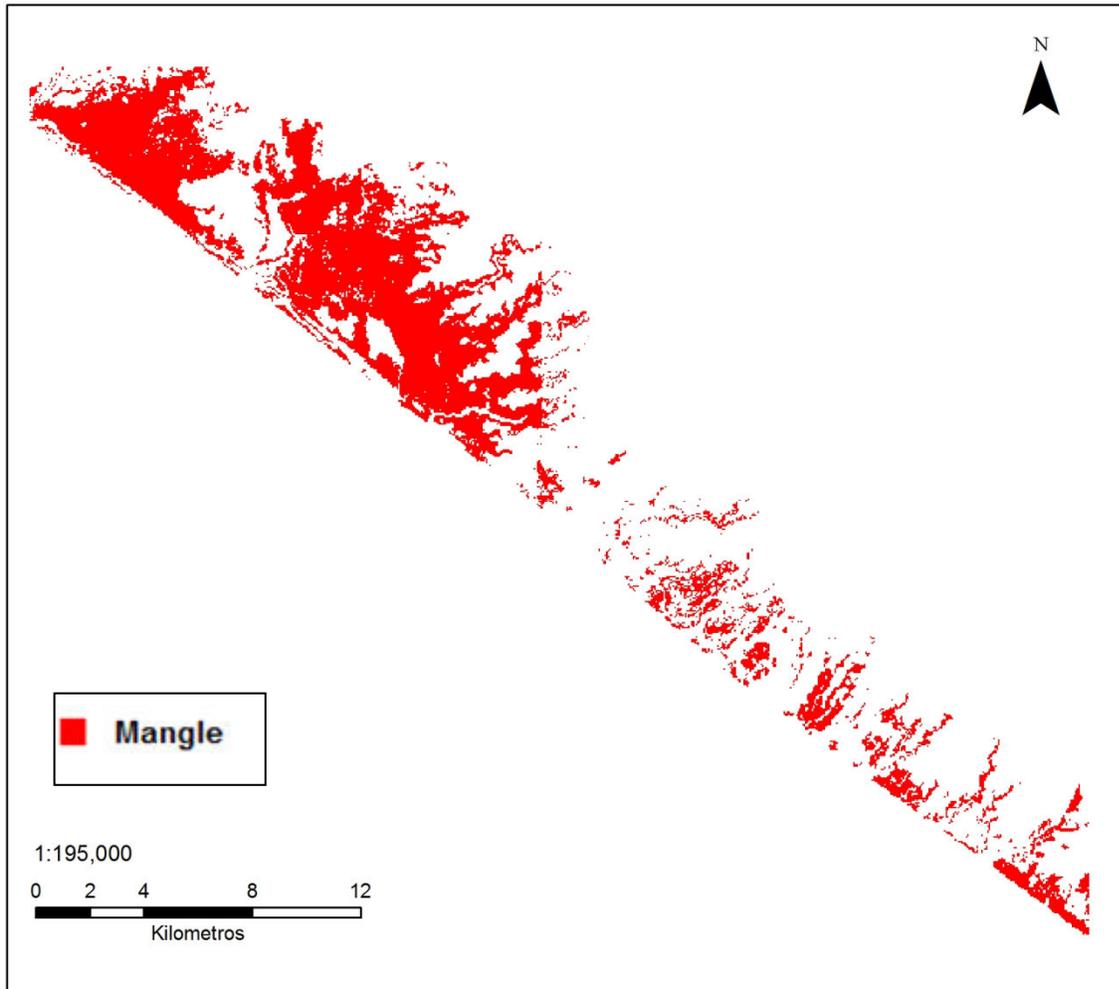
Figura 6. Cobertura de mangle en Manchón Guamuchal en 1974, imagen Landsat, sensor multiespectral



Fuente: Elaborado por El Autor 2011.

En la figura 6 se observa que en el Humedal Manchón Guamuchal existen grandes extensiones sin bosque manglar al centro de dicha área. También es posible observar el bosque manglar que se encuentra en este humedal.

Figura 7. Distribución del bosque manglar en el año 1974, en el municipio de Ocos, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu



Fuente: Elaborado por El Autor 2011.

En la figura anterior se identifican grandes áreas sin cobertura manglar, también se observa el bosque manglar en los esteros del municipio de Champerico.

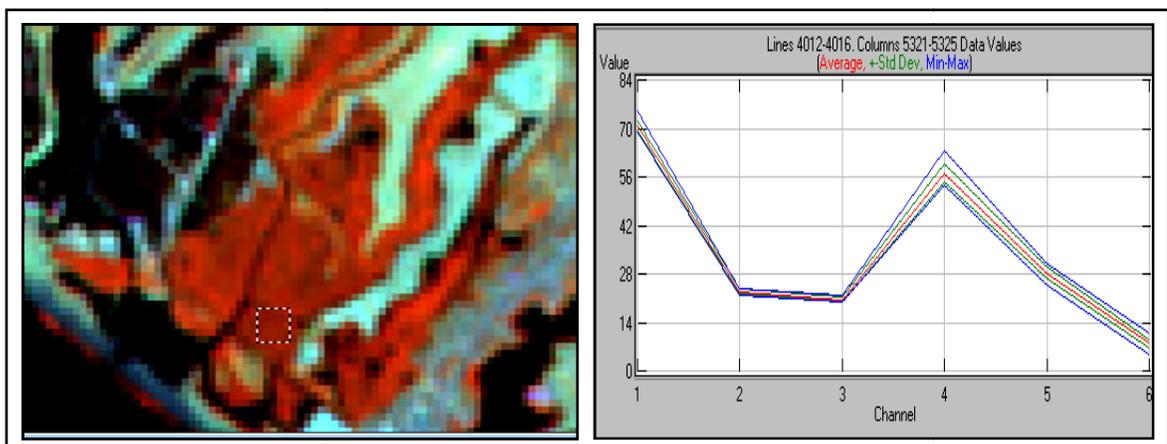
3.2 Cobertura de bosque manglar en el año1988

En el año de 1988 ya se encontraban en el espacio los satélites Landsat 2 y 3, que transportaban los sensores TM. Estos sensores obtienen imágenes con mayor resolución espacial y espectral. Esta característica mejora la precisión de los datos y de los resultados que se pueden obtener de estas imágenes.

Debido a que se conocía con exactitud la existencia de un bosque de mangle de la especie *R. mangle*, *L. Racemosa* y *A. germinans*, se uso esta información para identificar la respuesta espectral del mismo.

En la combinación de bandas RGB 4,5,6 se desprecia la vegetación que se encuentra sobre suelo inundado. Se observan los cuerpos de agua que no se distinguen con una combinación color RGB 3,2,1. (Ver figura 8.)

Figura 8. Respuesta espectral del bosque manglar en el municipio de Champerico, Retalhuleu

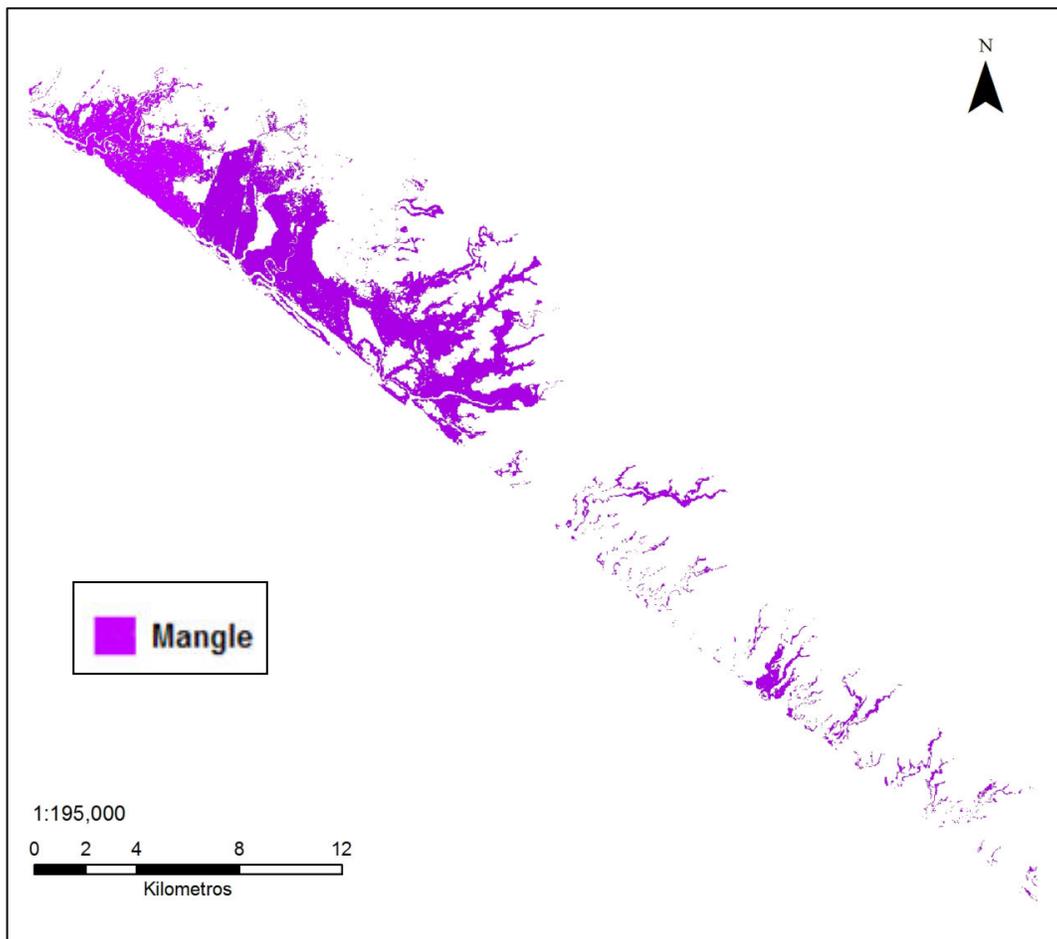


Fuente: Elaborado por El Autor 2011.

En el año 1988 se pueden observar camaroneras establecidas en el Manchón Guamuchal y en el municipio de Champerico. En este año (1988) se

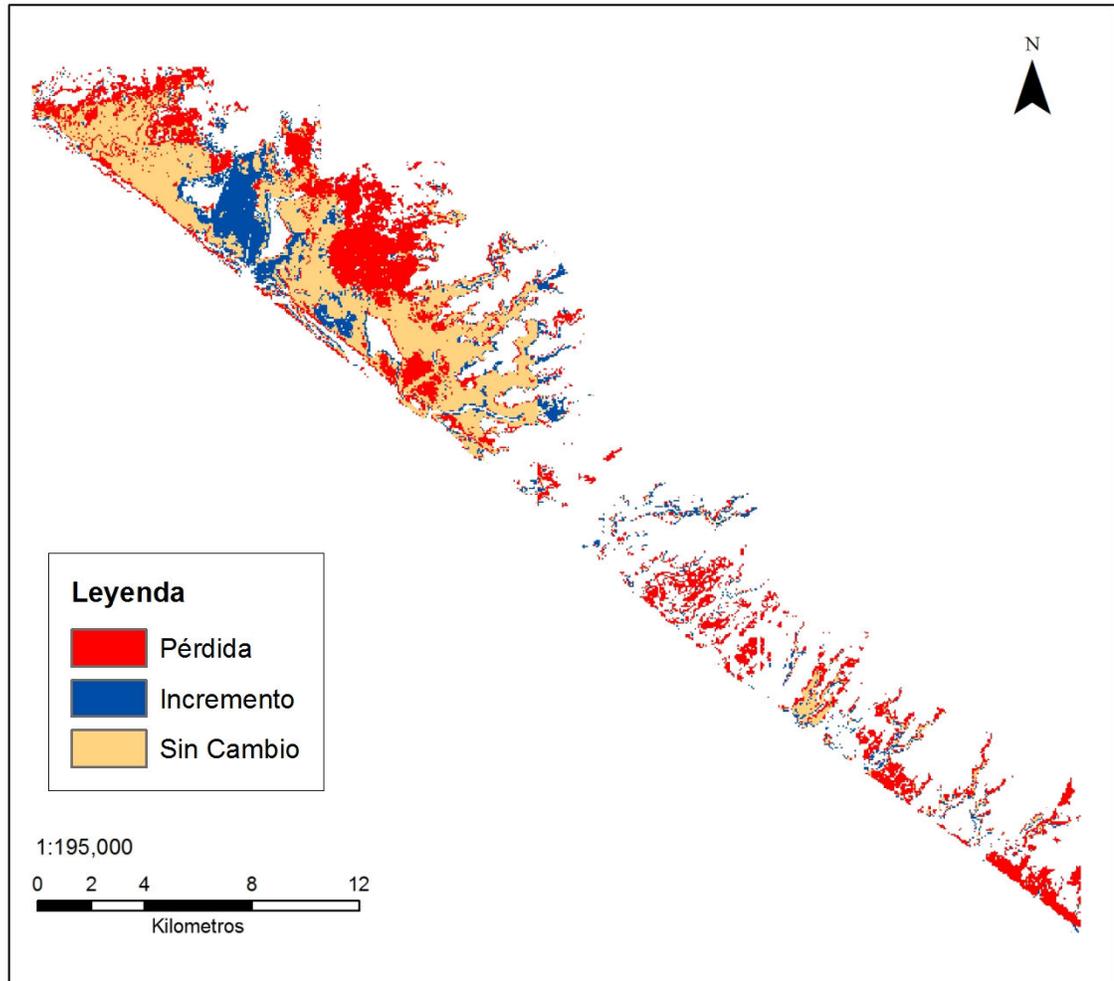
cuantificó 64 kilómetros cuadrados de bosque manglar, esto representa una reducción de 36 kilómetros cuadrados con respecto al área cuantificada en 1974. En la figura 9, se observa la cobertura del bosque manglar de 1988. La reducción del bosque manglar es en toda el área estudiada, observándose la mayor pérdida en el manchón Guamuchal, también se observó una reducción en los bosques manglar del municipio de Champerico.

Figura 9. Distribución del bosque manglar en Ocos, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu, en el año 1988



Fuente: Elaborado por El Autor 2011.

Figura 10. Dinámica del bosque manglar en Ocos, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu, periodo 1974-1988

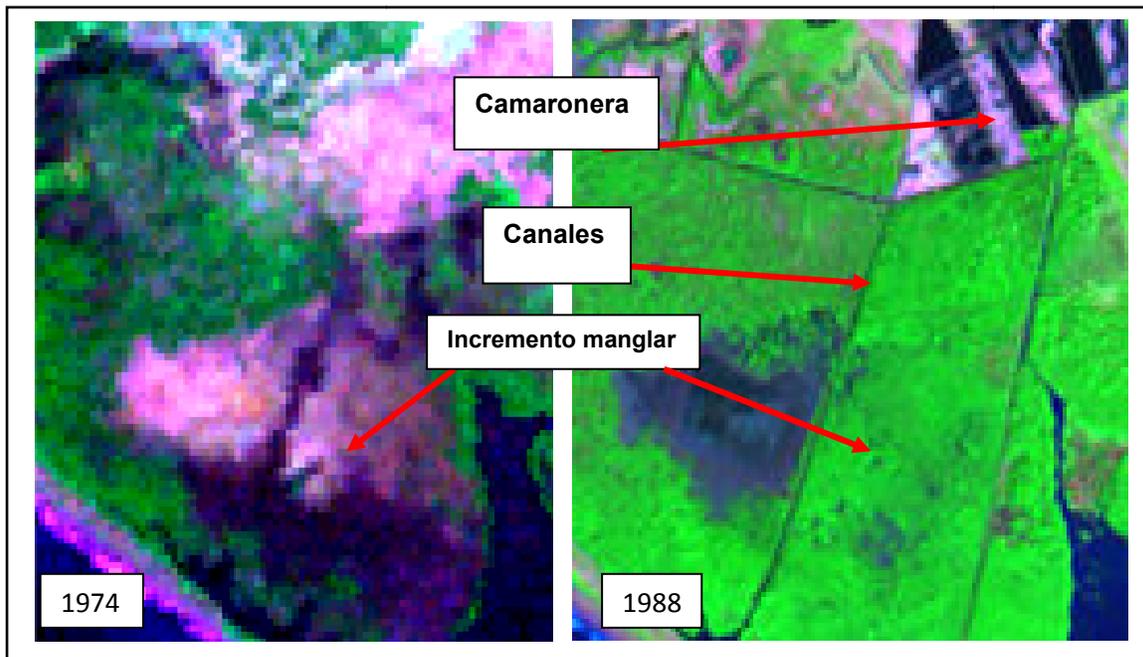


Fuente: Elaborado por El Autor 2011.

En la figura 10, se identifican las áreas donde se incrementó el bosque manglar, siendo en el Manchón Guamuchal donde el incremento fue considerable; también se observa el bosque manglar que se perdió, este cambio fue grande en toda el área que contenía mangle, a tal grado que en los esteros de Champerico se perdió una gran extensión.

En las imágenes de satélite Landsat de 1988 es posible observar los canales realizados por la camaronera de finca Tamashán, estos canales atraviesan áreas del Manchón Guamuchal que en 1974 no tenían mangle. Se puede atribuir que estos canales propiciaron inundaciones de pleamar, generando condiciones adecuadas para el desarrollo de las especies manglar (figura 11).

Figura 11. Cambios en el Manchón Guamuchal durante el periodo 1974 y 1988



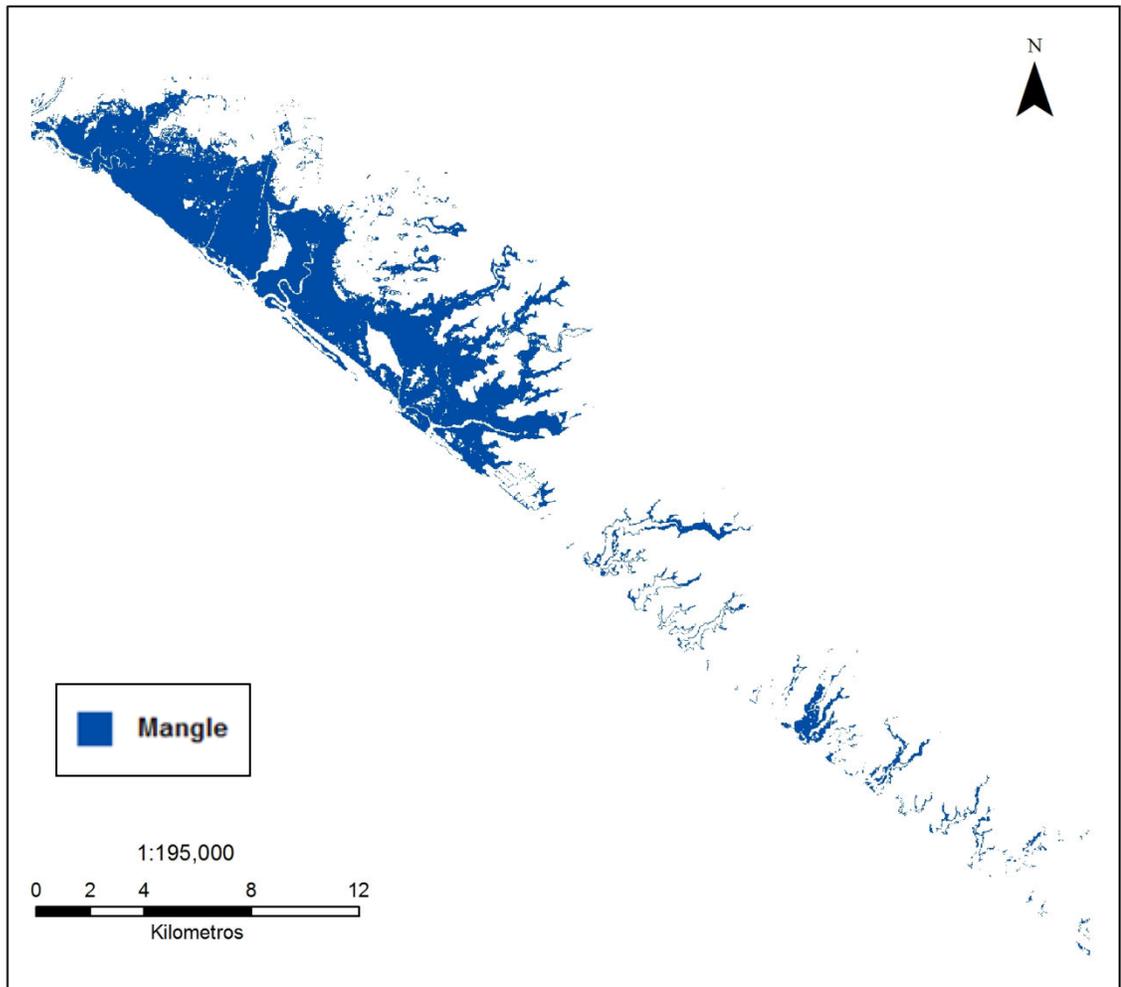
Fuente Elaborado por El Autor 2011.

3.3 Cobertura del bosque manglar en 1995

En este año el humedal Manchón Guamuchal fue incluido en la lista de Humedales de Importancia Internacional de la Convención sobre los Humedales

y en el año 1998 la Ley de Áreas Protegidas lo declara como Área de Protección Especial.

Figura 12. Distribución del bosque manglar en Ocós, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu en el año 1995



Fuente: Elaborado por El Autor 2011.

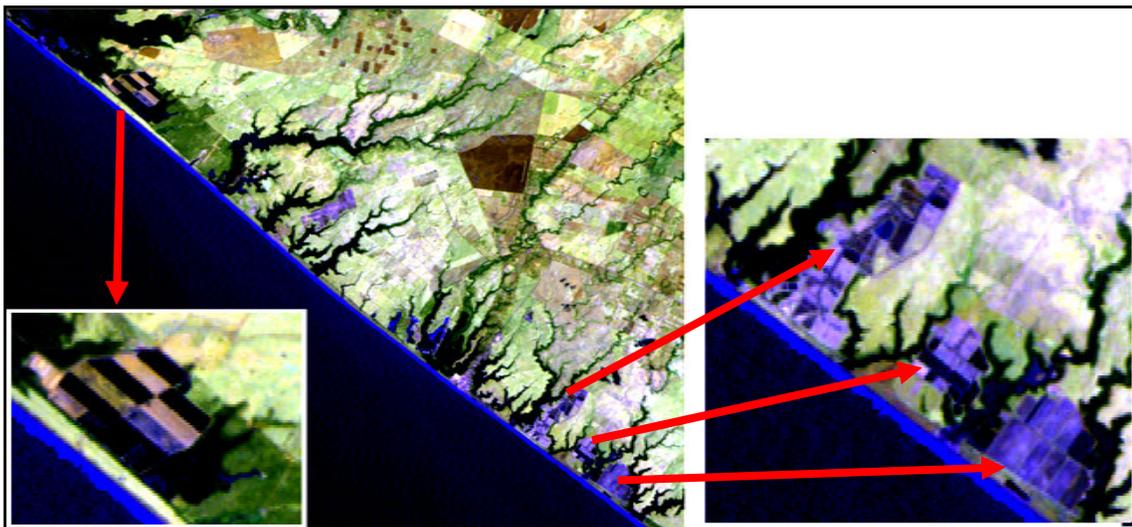
La cobertura de bosque manglar era de 67 kilómetros cuadrados, indicando una pérdida de 33 kilómetros cuadrados de bosque manglar con respecto al año 1974 y un incremento de 3 kilómetros cuadrados con respecto

al año 1988. En la figura 12 se observa la distribución del bosque manglar en el área estudiada para el año 1995.

En la figura anterior se observa que el bosque manglar en los esteros del municipio de Champerico casi ha desaparecido, observándose la mayor área en la finca Chapan, en el municipio de Champerico.

En la imagen de satélite de 1995 se observan las camaroneras como parte del paisaje de esta zona (figura 13).

Figura 13. Imagen de satélite Landsat de 1995, identificando las camaroneras en el municipio de Champerico, Retalhuleu



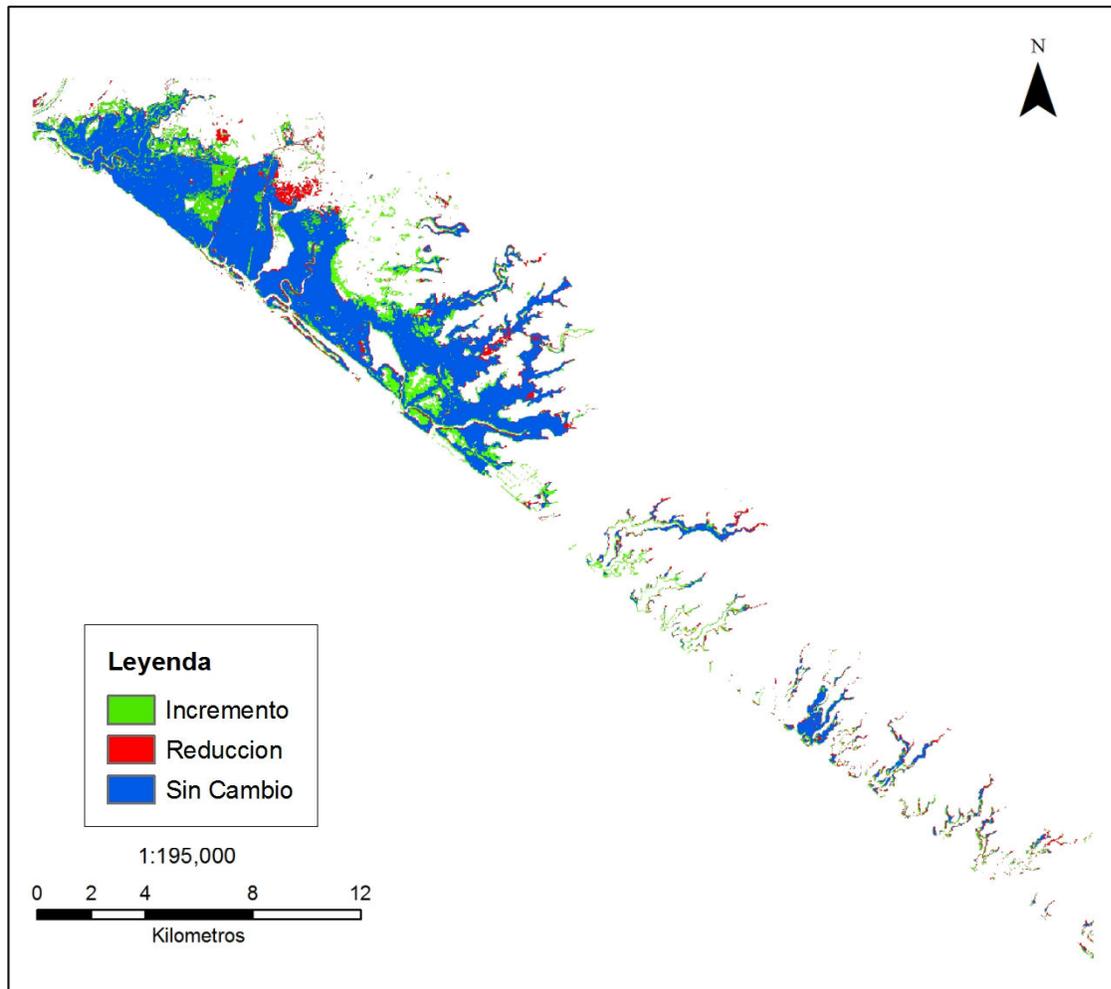
Fuente: Elaborado por El Autor 2011.

En la zona de estudio en el departamento de Retalhuleu el uso del suelo es principalmente la agricultura anual y la ganadería, y en el litoral las granjas camaroneras.

Los canales hechos por las camaroneras pueden favorecer el establecimiento de nuevas áreas de mangle o generar condiciones adversas -inundaciones prolongadas, áreas fuera del alcance de mareas- para el desarrollo de este bosque provocando su desaparición.

En la figura 14, se observa el incremento y la reducción en la cobertura del bosque manglar en el Manchón Guamuchal, aumentando 3 km² con respecto a 1988, mientras que en el municipio de Champerico no se observan incrementos significativos, pero sí pérdidas considerables.

Figura 14. Dinámica del bosque manglar durante el periodo 1988-1995, en el municipio de Ocos, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu



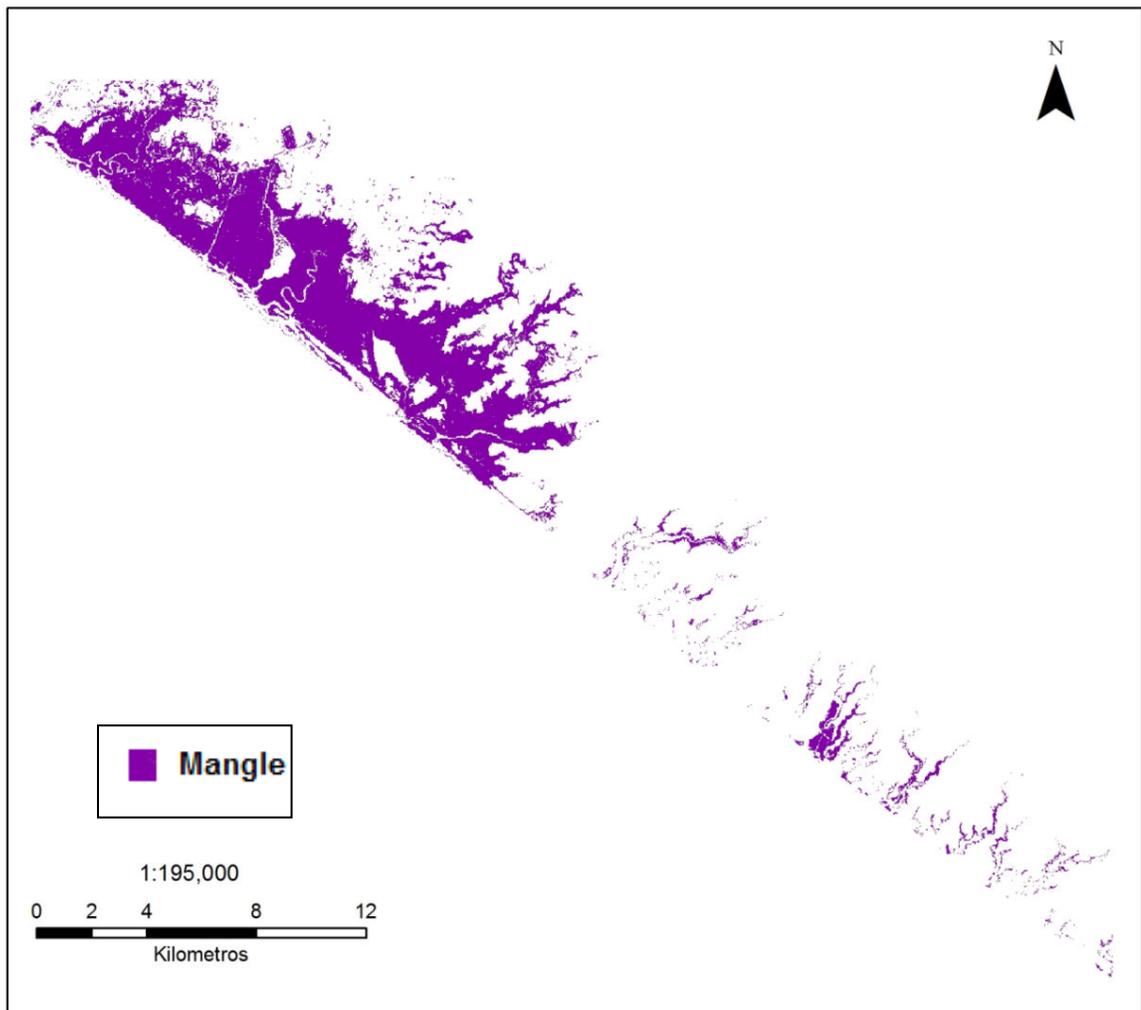
Fuente: Elaborado por El Autor 2011.

3.4 Cobertura del bosque manglar en el año 2000

En este año se observa un incremento de la cobertura del bosque manglar, específicamente del Manchón Guamuchal, ya que en el resto de esteros donde se había cuantificado mangle casi desapareció. La superficie que ocupaba el bosque manglar en el año 2000 fue de 73 km² significando una reducción de 27 km² con respecto al año 1974 y un incremento de 6 km² con

respecto al año de 1995, encontrándose en el área del Manchón Guamuchal puesto que en el resto de zonas que tenían este bosque se redujo considerablemente.

Figura 15. Distribución del bosque manglar en el año 2000, en el municipio de Ocos, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu



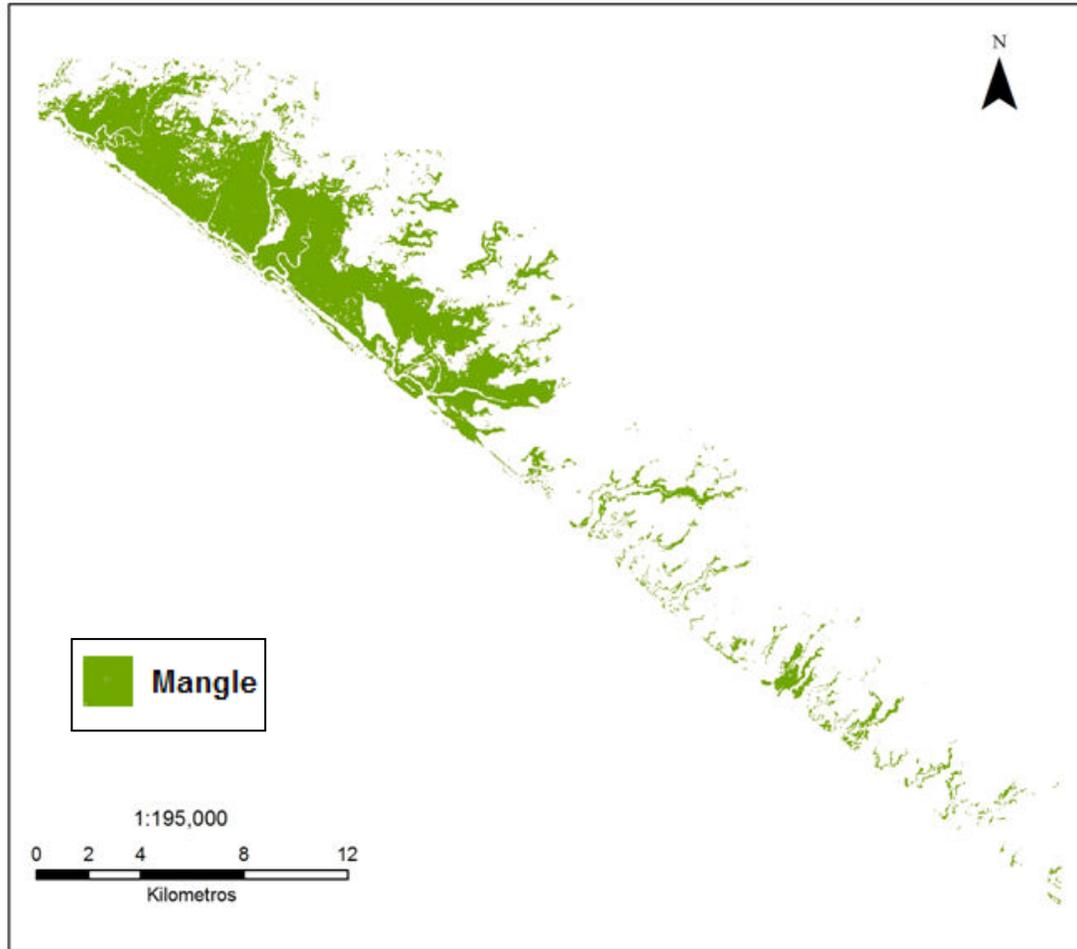
Fuente: Elaborado por El Autor 2011.

3.5 Cobertura del bosque manglar en el año 2008

En el 2008 no se observaron cambios significativos en este bosque ya que se contabilizaron 76 kilómetros cuadrados de bosque manglar. Al observar la distribución del bosque en los años 2000 y 2008 se identifican áreas donde el bosque desapareció. Aunque solamente transcurrieron ocho años, es necesario investigar con imágenes captadas entre estas fechas para seguir la evolución de la pérdida de esta parte del bosque.

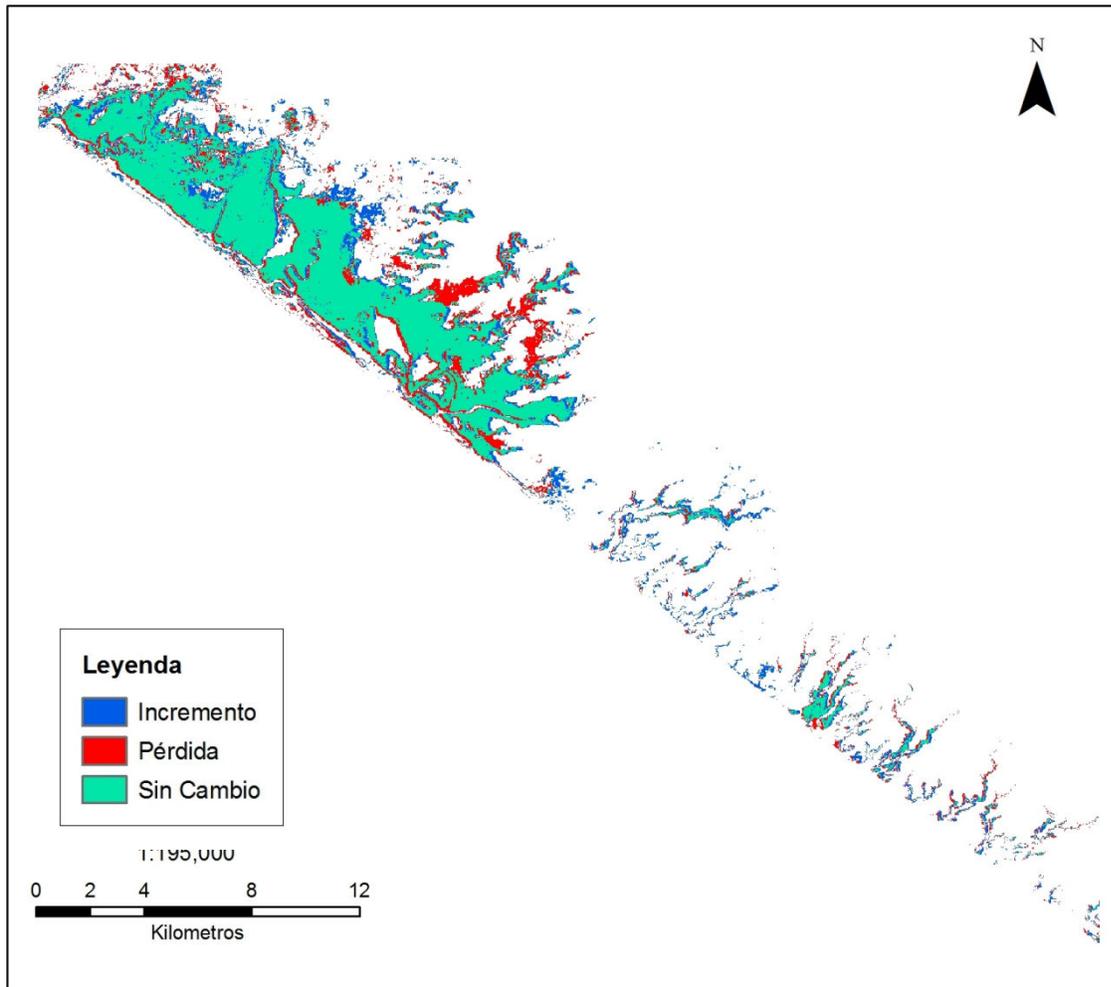
Se pueden emplear fotografías aéreas infrarrojo color capturadas en los años 2005-2006 para obtener mejor resolución espacial y generar mapas a detalle de la distribución del bosque manglar, así como identificar la agrupación de las tres especies de mangle estricto (*R. mangle*, *L. racemosa* y *A. germinans*)

Figura 16. Distribución del bosque manglar en el municipio de Ocos, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu, año 2008



Fuente: Elaborado por El Autor 2011.

Figura 17. Dinámica del bosque manglar en el periodo 2000-2008, en el municipio de Ocos, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu



Fuente: Elaborado por El Autor 2011.

El mangle de la finca Chapán en Champerico sufrió una disminución provocada por la adecuación de un área en la que se construyó la dársena pesquera de este puerto.

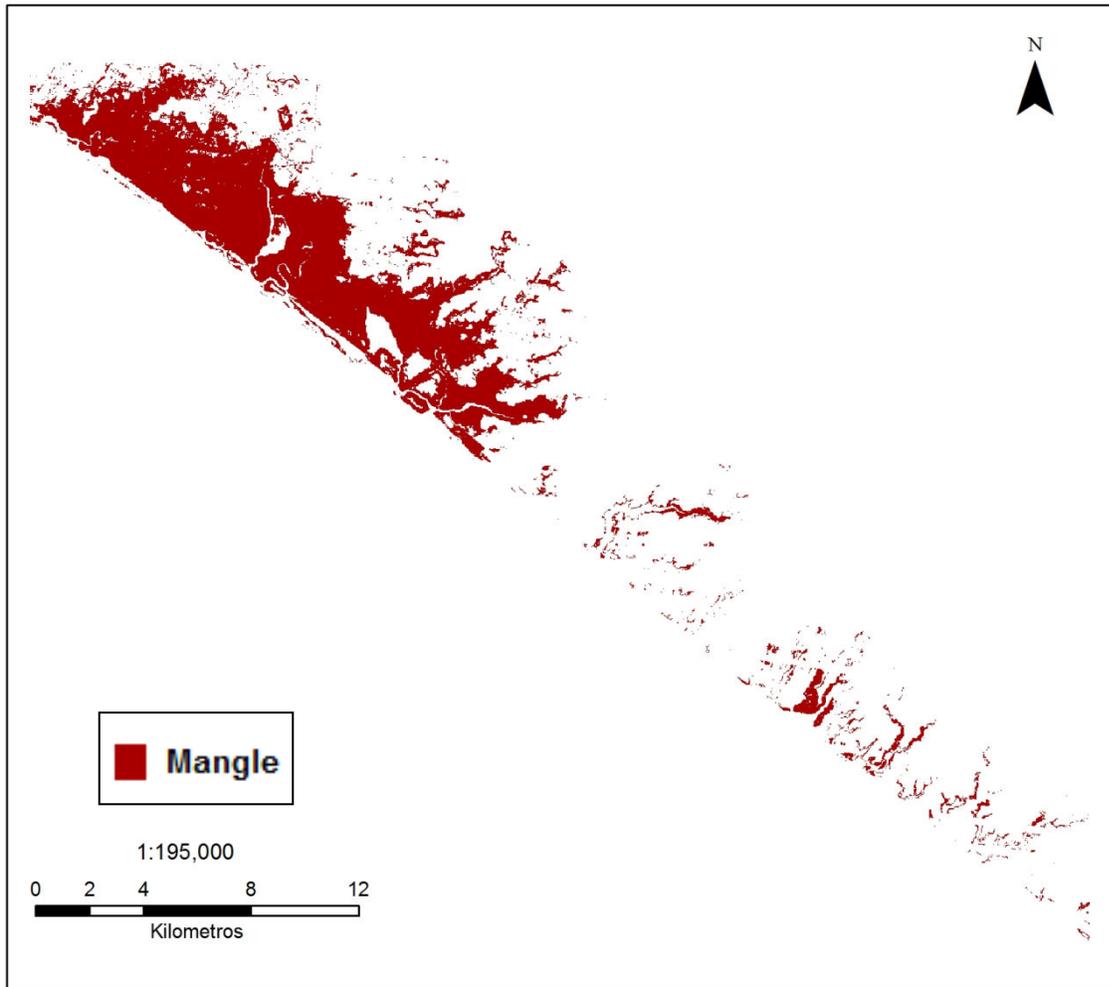
3.6 Cobertura del bosque manglar en el año 2010

En el 2010 se cuantificaron 77 km² de bosque manglar, incrementándose con respecto a los años 1988,1995, 2000 y 2008.

Después del año 1995 se observó más estabilidad en el bosque manglar esto porque los decrementos mayores se dieron en el bosque fuera del área de protección especial, sin que se tuviera control de estas áreas.

Existen factores que se pueden tomar en cuenta para explicar este fenómeno. Ya que el manchón fue declarado desde 1998 área de protección especial, controlando y regulando la explotación de este recurso. Por otra parte el incremento de la población en estas zonas demandó mayor cantidad de madera para la construcción de viviendas y el uso como fuente de combustible o leña. También el uso como fuente de ingresos al emplearlo para la venta de leña sobreexplotó los remanentes de este bosque donde existen áreas muy pequeñas que desaparecen rápidamente sin que se le permita repoblar.

Figura 18. Distribución del bosque manglar en el año 2010, en el municipio de Ocos, San Marcos y en el departamento de Retalhuleu

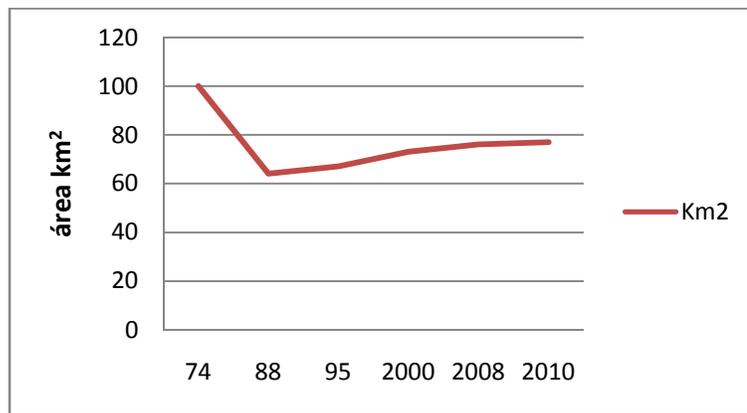


Fuente: Elaborado por El Autor 2011.

En la figura 18, se observa poco mangle en el municipio de Champerico, la mayor extensión de este bosque se encuentra en la finca Chapán; esta pequeña área colinda con la cabecera del municipio en mención. La cercanía del bosque y las áreas urbanas es uno de los problemas que afecta al bosque manglar, pues facilita la explotación de este bosque al ser la principal fuente de

energía y material para la construcción, empleándolo como un medio de subsistencia.

Figura 19. Grafica de variación de la cobertura del bosque manglar durante los años 1974,1988, 1995, 2000, 2008 y 2010



Fuente: Elaborado por El Autor 2011.

En la figura anterior se observa el comportamiento del bosque manglar, la pérdida ocurrida en el periodo 1974-1988 y la recuperación desde el año 1995.

No se identificaron las diferentes especies de mangle ni su conformación, esto por el método de clasificación de imágenes empleado, ya que se generaron clústeres de las imágenes empleando todas las bandas que las conformaban, obteniendo con esto mejor capacidad de agrupamiento de la reflectancia de las superficies que se analizaron, también la topografía de las zonas propicia la formación de bosques mixtos de especies manglar.

Después del año de 1974 se observó un descenso considerable en el bosque manglar, cuantificándose en el año 1988, en los años siguientes se observó un incremento gradual. Uno de los factores que pueden incidir en

cambios en este bosque es la modificación de los cursos del agua de las mareas, mediante canales, aunque pueden resultar favorables como en el caso del Manchón Guamuchal, también puede propiciar su pérdida.

Tabla 8. Cuantificación del bosque manglar en el período 1974-2010

Año	Área de Mangle km ²
1974	100
1988	64
1995	67
2000	73
2008	76
2010	77

Fuente: Elaborado por El Autor 2011.

Figura 20. Colonización de canales por especies de mangle *A. germinans* y *L. racemosa*.



Fuente: Fotografías tomadas por F. Espinoza 2011.

Referencias: a) *A. germinans*; b) *L. racemosa*

En la figura 20 se aprecia a las especies pioneras en la colonización de nuevas áreas, siempre que estas sean alcanzadas por las aguas de las mareas. Es notable la agresividad que tienen estas especies para colonizar nuevas áreas y también la velocidad en que pueden desaparecer, simplemente con la modificación de los cursos del agua de las mareas y el anegamiento por tiempos muy prolongados.

En los esteros cercanos a los poblados se tiene un alto consumo de madera del bosque manglar para diversos usos, entre los que se mencionan los energéticos, construcción y comercialización.

Las especies de mangle que mayor depredación sufren son *R. mangle* y *L. racemosa*, la primera por su característica energética, siendo usado como leña; mientras que la segunda por su hábito de crecimiento, ya que produce brotes rectos que son empleados en la construcción de viviendas y cercos. La especie *A. germinas* es usada en menores cantidades, aunque también es empleada en la construcción de viviendas.

Aunque las especies manglar tienen una tasa de recuperación relativamente rápida, uno de los problemas que se observaron fue la ausencia de ornitofauna característica de este ecosistema (garzas, aves marinas), mucho menos de mamíferos de esta zona, esta falta de biodiversidad radica en la eliminación de nichos de anidamiento de las aves marinas, puesto que utilizan las especies de *R. mangle* para anidar, siendo esta especie la que tiene mayor demanda para consumo energético (ver figura 21 C).

Figura 21. Tala del bosque manglar y medios de transporte utilizados para la extracción de madera de mangle



Referencias: A): *L. racemosa*; C): *R. mangle*; B y D): medios de transporte de madera de mangle.

Fuente: Fotografías tomadas por F. Espinoza 2011.

El acceso de medios de transporte a los bosques manglar facilita la tala de este recurso, puesto que se pueden transportar grandes cantidades de madera desde el bosque hasta los lugares de consumo y comercialización.

V. CONCLUSIONES

1. La superficie cubierta de bosque manglar hasta finales del año 2010 es de 77 kilómetros cuadrados, representando una disminución de 23 kilómetros cuadrados con respecto a la superficie cubierta en el año 1974.
2. El comportamiento del bosque manglar es dinámico pues ha cambiado en la extensión cubierta desde 1974, siendo 100, 63, 67, 73, 76 y 77 kilómetros cuadrados durante los años 1974, 1988, 1995, 2000, 2008 y 2010 respectivamente.
3. Desde que fue declarado el Manchón Guamuchal como área de protección especial, se observó una estabilización en la cobertura del bosque manglar en este humedal, observándose cambios positivos, aumentando de 67 km² en 1995 a 77 km² a finales del año 2010.
4. La distribución del bosque manglar a lo largo de la línea costera ha variado, observándose mayores cambios en las áreas que tenían menor cantidad de este bosque. De igual forma ha desaparecido el bosque de acompañamiento del manglar pues ha sido explotado severamente juntamente con el mangle.
5. Las causas de los cambios en la cobertura del bosque manglar son la modificación de la distribución de las aguas de las mareas, la facilidad de acceso a este bosque y el cambio de uso del suelo.

6. Las técnicas de percepción remota no solo se aplican a la distancia física a los objetos a estudiar sino también al espacio temporal ya que se analizaron imágenes de los archivos Landsat de las décadas 70's, 80's, 90's y 2000.

VI. RECOMENDACIONES

1. Cuantificar el cambio en la cobertura del bosque manglar en las áreas fuera del humedal Manchón Guamuchal.
2. Emplear imágenes de mayor resolución espacial y espectral para diferenciar especies de mangle y las especies vegetales asociadas de este ecosistema.
3. Extender el área de estudio a todo el litoral del pacífico para conocer el estado actual del bosque manglar.
4. Utilizar técnicas de percepción remota para monitorear el recurso forestal de Guatemala.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, R., Pérez, S. 2005. Cartografía temática de la cobertura de manglares mediante imágenes satelitales landsat-7. Cuba

Bense, T. 2007. Educación en Percepción Remota en el Ámbito del Mercosur Ur. En línea. Consultado el 05 de nov. de 2010. Disponible en: <http://www.selper.org.uy>

CICEANA (Centro de información y comunicación ambiental de norte américa). (S.f). Saber más....Percepción Remota. Mx. En línea. Consultado el 15 de oct. de 2010. Disponible en: <http://www.ciceana.org.mx/recursos/Percepcion%20remota.pdf>

CONABIO (Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad). (S.f). *Rhizophora mangle: et al. Species Plantarum*. 1753, México. En línea. Consultado el 10 oct. 2010. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/58-rhizo1m.pdf

CONAP (Consejo nacional de áreas protegidas). 2010. Estudio Técnico del Manchón Guamuchal, Retalhuleu y Ocos. Guatemala. 129 páginas.

DigitalGlobe. (S.f). Satélite QuickBird. En línea. Consultado el 15 de dic. de 2010. Disponible en: <http://www.digitalglobe.com/index.php/85/QuickBird>

ESA (European space agency). (S.f) Eduspace. Remote sensing principles. En línea. Consultado el 05 dic. 2010. Disponible en: <http://www.eduspace.esa.int/subtopic/default.asp?document=295&language=es>

FAO (Food and agriculture organization of the united nations). 2005. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. Estudio temático sobre manglares Guatemala, perfil nacional. Departamento de Montes, Roma, Italia.

GeoEye. (S.f.). Satélite GeoEye 1. En línea. Consultado el 15 de dic. De 2010. Disponible en: <http://www.geoeye.com>

GLCF (Gloval Land Cover Facility). (S.f.). Sensores Landsat. USA. En línea. Consultado el 12 de nov. 2010. Disponible en: <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat>

Gómez, M. (1995). Impactos potenciales de un incremento del nivel del mar, sobre los manglares y otros ecosistemas costeros en el Pacífico de Guatemala.

INRENA (Instituto nacional de recursos naturales). 2007. Plan Maestro del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes 2007 - 2011. Lima. Perú.

Jiménez, J.; Lugo, A. [s.f.]. *Avicennia germinans* (L.) L. SO-ITF-SM-4. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 6 p.

Lizano, O.; Amador, J.; Soto, R. 2001. Caracterización de manglares de Centroamérica con sensores remotos. Rev. Biol. Trop. . Supl. 2: 331-340. En Línea. Disponible en: www.ucr.ac.cr

Morales, J. 1979. Importancia nacional del uso y manejo racional, para la conservación del mangle (*Rhizophora mangle* L.) en el litoral del pacífico. Tesis Ing. Agrónomo, USAC, Guatemala, gt.

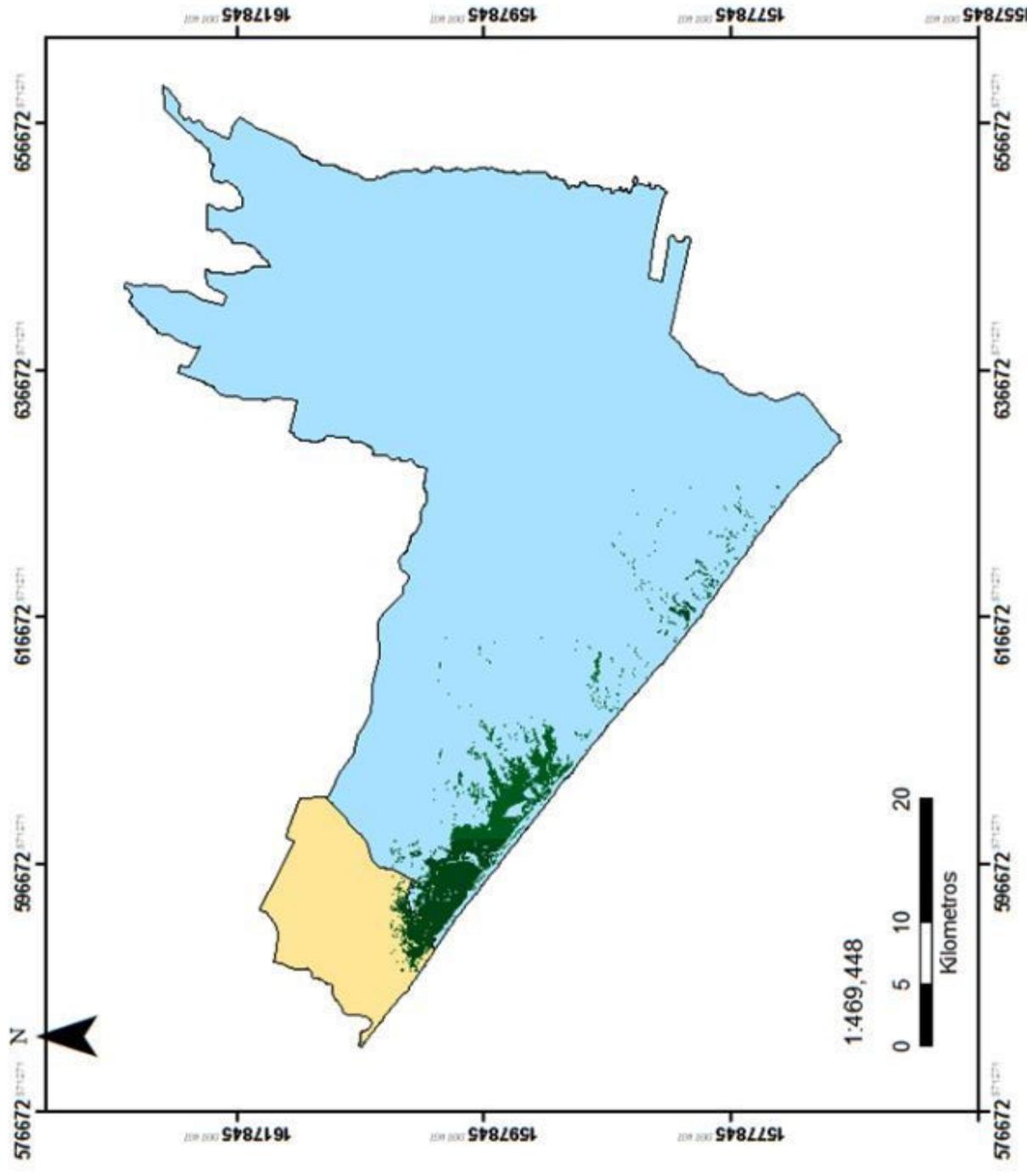
OFI/CATIE (Oxford forestry institute / Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza). 2003. *Rhizophora mangle*. Manual de árboles de Centro América OFI/CATIE. Turrialba, cr. En línea. consultado el 15 nov. de 2010. Disponible en: www.arbolesdecentroamerica.info

Sánchez, C. 1992. Determinación de la edad y tasa de crecimiento de *R. mangle* L. por medio del estudio anatómico de la madera en los esteros de San José Chiquirín, Mazatenango, Suchitepéquez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía.

USGS/EROS (United States geological survey / Earth resources observation and science center). (S.f). Landsat enhanced thematic mapper plus (ETM+) US. En línea. Consultado el 01 de sep. de 2010. Disponible en http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/ETM

WRM (World rainforest movement) (S.f). Los impactos de la actividad camaronera en Champerico, Retalhuleu, Guatemala. En línea Disponible en: <http://www.wrm.org.uy/paises/Guatemala/Champerico.doc>

VIII. ANEXOS



Leyenda

- OcosSM
- Retalhuleu
- Mangle 2010

Proyeccion UTM
 Zona 15
 Datum WGS 84

Autor:
 Francisco Espinoza
 2011

Figura 22. Mapa de ubicación del área de Estudio