



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

UNIDAD MULTIDISCIPLINARIA DE DOCENCIA E INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS

*Comparación de la cobertura y fragmentación del bosque de manglar
entre un área natural protegida y área adyacente sin esquema de
protección*

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LIC. EN MANEJO SUSTENTABLE DE LAS ZONAS COSTERAS

PRESENTA:

JUAN ANTONIO MORENO RUIZ

ASESOR:

DR. RODOLFO RIOJA NIETO



2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de Datos del Jurado

1.- Datos del alumno

Moreno

Ruiz

Juan Antonio

57772507

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Manejo Sustentable de Zonas Costeras

305032746

2.- Datos del Tutor

Dr.

Rodolfo

Rioja

Nieto

3.- Datos del sinodal 1

Dr.

Xavier

Chiappa

Carrara

4.- Datos del sinodal 2

Dr.

Joaquín Rodrigo

Garza

Pérez

5.- Datos del sinodal 3

Dr.

Ernesto Tonatiuh

Mendoza

Ponce

6.- Datos del sinodal 4

M. en C.

Ignacio Jesús

Gorostegui

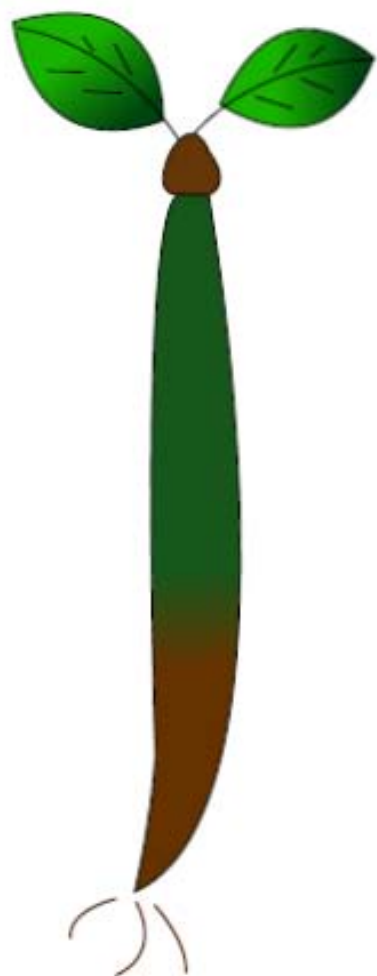
Muriedas

7.- Datos del trabajo escrito

Comparación de la cobertura y fragmentación del bosque de manglar entre un área natural protegida y área adyacente sin esquema de protección

96 p

2013



DEDICATORIA

A mis padres por todo su apoyo, guía, cariño, paciencia y esfuerzo que me han brindado en todos los aspectos de mi vida. No hay como agradecerles todas las enseñanzas.

A mis hermanos quienes representan para mí un ejemplo de motivación y esfuerzo. Gracias por sus consejos, y por todo su apoyo, son mis mejores amigos en este viaje.

A mis abuelitos que con todo su amor y sabiduría, me han mostrado el camino del esfuerzo, dedicación y perseverancia.

Deseo dedicarles este trabajo como muestra de agradecimiento por hacerme tan feliz, para ustedes con mucho amor.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme permitido pasar por sus aulas y ser la precursora de mi formación profesional, forjándome la crítica y el saber.

Agradezco al proyecto No. 153599 del fondo SEP-CONACYT y el proyecto No. IA202011 de la Iniciativa de Apoyo Complementario a la Realización de las Obras Determinadas “IACOD-UNAM” por las becas otorgadas para la realización de este trabajo.

A la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación Campus Sisal, por otorgarme todos los conocimientos y experiencias que ahora tengo. Y por haberme permitido conocer grandes amigos.

En especial y con mucha admiración y aprecio al Dr. Rodolfo Rioja Nieto, que con su paciencia, apoyo, sabiduría y todos sus consejos brindados, me logró encaminar en la dirección correcta para poder concluir este proyecto de tesis.

Quiero agradecer a los revisores de esta tesis: Dr. Xavier Chiappa, Dr. Rodrigo Garza, Dr. Ernesto Tonatiuh Mendoza y al M. en C. Ignacio Gorostegui, porque sus comentarios permitieron mejorar la versión final de este trabajo.

Agradezco también la hospitalidad, cariño y apoyo de mi familia yucateca; la familia Tzuc Chan. Así mismo quiero agradecer a la Secretaria de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA) y a los señores Genaro y Víctor por todo su apoyo, sabiduría local y los buenos momentos pasados durante la realización del trabajo de campo.

Un agradecimiento para mis compañeros de carrera: Andrea, Ulsía, Yamile, Tania, Yolanda, Nuria, Pamela, Mildred, Ivonne, Eugenio, Pablo, Eric y Hugo. En especial quiero agradecer a Silvia (Chivita), Daniel (Chiapaneco), Gerardo (pepe) por ser aquellas personas que me han enseñado el valor de la amistad y me han ayudado a ver más allá de la sombra, muchas gracias por haber compartido este maravilloso viaje.

CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	8
2. MARCO TEORICO	12
2.1. Manglares	12
2.2. Distribución de los ecosistemas de manglar	13
2.3. Tipos fisonómicos, estructurales y zonación del manglar	16
2.4. Servicios ambientales proporcionados por los manglares	20
2.5. Amenazas e impactos en los ecosistemas de manglar	21
2.6. Descripción del escenario ambiental en Yucatán	24
2.7. Áreas naturales protegidas como estrategias de conservación	26
3. Justificación	30
4. Área de estudio.....	32
4.1.1. Condiciones climáticas regionales	34
4.1.2. Suelos.....	35
5. Hipótesis	36
5.1. Objetivo general.....	36
5.2. Objetivos particulares	36
6. METODOLOGIA.....	38
6.1. Selección de sitios	38
6.2. Muestreo de la vegetación.....	39
6.3. Construcción mapas temáticos	40
6.3.1. Determinación de los tipos de hábitat de manglar	40
6.3.2. Pre-procesamiento de imágenes.....	41
6.4. Características generales del paisaje de manglar en el área de estudio	45
6.5. Comparación de características del paisaje entre el ANP y el área adyacente...	45

6.5.1.	Fragmentación	47
6.5.2.	Área y compactación del hábitat.....	47
7.	RESULTADOS	49
7.1.	Muestreo de la vegetación.....	49
7.2.	Características de los tipos de hábitat de manglar	50
7.3.	Mapa temático cobertura manglar	54
7.4.	Evaluación de la clasificación	66
7.5.	Características generales del paisaje	67
7.5.1.	Área	67
7.5.2.	Fragmentación	68
7.6.	Comparación de características del paisaje entre el ANP y área adyacente	70
7.6.1.	Fragmentación	70
7.6.2.	Área	73
7.6.3.	Compactación	75
8.	DISCUSIÓN	76
8.1.	Mapa temático cobertura de manglar.....	76
8.2.	Comparación de las características en el paisaje.....	78
	CONCLUSIONES	82
	REFERENCIAS	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Extensión de manglar en países americanos (Tomado de Suman, 1994 <i>In</i> Herrera Silveira <i>et al</i> , 1998)	14
Tabla 2. Referencia Histórica cobertura del manglar en México (CONABIO, 2007)	23
Tabla 3. Definición de las categorías de manejo de las ANP' s federales de México y las actividades permitidas en ellas (LEGEEPA, 2000)	29
Tabla 4. Tipos de hábitat de manglar. N representa el número de sitios visitados que componen cada clase. Intervalo de porcentaje de cobertura de especies: > 1(presencia), $\geq 2 \leq 25$ (bajo), $> 25 \leq 50$ (medio), $> 50 \leq 75$ (alto), > 75 (dominado). Intervalo de alturas promedio: $> 1 \leq 5$ (bajo), $> 5 \leq 10$ (medio), > 10 (alto).....	53
Tabla 5. Matriz de error de la clasificación	66

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de los manglares por región en México. Fuente: http://www.conabio.gob.mx	15
Figura 2. Principales tipos fisionómicos de bosques de manglar. Tomado de (Rodriguez Zuñiga, 2000):.....	18
Figura 3. En color amarillo la poligonal de la Reserva Estatal “El Palmar”, y en color rojo la zona de estudio total que abarca una franja de 3 km.....	33
Figura 4. Ubicación de los sitios de muestreo visitados. El polígono en color rojo representa la zona de estudio total.	38
Figura 5. Escena multiespectral SPOT 5, utilizada en el presente estudio, con un ancho de barrido de 60 x 60 km y una resolución espectral de 4 bandas.	41
Figura 6. Área de interés (AOI), enmascarada con el NDVI, los valores cercanos a 0 en la escena, mostrados en color negro, corresponden a áreas no cubiertas por vegetación y por lo tanto no fueron consideradas para el análisis.	43
Figura 7. Representación de las áreas divididas para la comparación de la fragmentación, en color rojo se presenta el área que se encuentra dentro y en color amarillo el área que se muestra el área fuera. La línea en color verde corresponde a la poligonal de la Reserva Estatal "El Palmar"	46
Figura 8. Número de árboles totales registrados en 73 estaciones de muestreo en la Reserva Estatal “El Palmar” y área adyacente.....	49
Figura 9. Dendrograma de similitud de las 73 estaciones de muestreo obtenido con el índice de similitud de Bray-Curtis. Los círculos en color rojo indican la agrupación de las estaciones en las distintas clases con una similitud del 80%.	50
Figura 10. Evaluación de las firmas espectrales. En ambos casos definidos por la frecuencia de los valores de los pixeles entre la banda 1 y banda 2 (ERDAS, 2010). Las elipses representan el intervalo de valores para cada clase. Se observa un traslape en los valores en las firmas espectrales tanto para las clases 8-12 (a), como para las clases 4-6 (b).....	51
Figura 11. Distribución de los tipos de hábitat de manglar en la región Norte del Estado de Yucatán.....	55
Figura 12. Distribución espacial de la cobertura de la clase 1 en la región Norte de Yucatán. Parches de >10 m de altura, con porcentaje > 50 ≤ 75 de <i>Conacarpus erectus</i> y porcentaje > 25 ≤ 50 de <i>Laguncularia racemosa</i>	56

Figura 13. Distribución espacial de la cobertura de la clase 2 en la región Norte de Yucatán. Parches de >10 m de altura, con porcentaje >75 de <i>Laguncularia racemosa</i> . ..	57
Figura 14. Distribución espacial de la cobertura de la clase 3 en la región Norte de Yucatán. Parches de > 5 ≤ 10 m de altura, con porcentaje > 50 ≤ 75 de <i>Laguncularia racemosa</i> y porcentaje >1 de <i>Rhizophora mangle</i>	58
Figura 15. Distribución espacial de la cobertura de la clase 4 en la región Norte de Yucatán. Parches de > 5 ≤ 10 m de altura, con porcentaje >75 de <i>Avicennia germinans</i> . 59	
Figura 16. Distribución espacial de la cobertura de la clase 5 en la región Norte de Yucatán. Parches de > 1 ≤ 5 m de altura, con porcentaje > 50 ≤ 75 de <i>Avicennia germinans</i> y porcentaje > 25 ≤ 50 de <i>Laguncularia racemosa</i>	60
Figura 17. Distribución espacial de la cobertura de la clase 6 en la región Norte de Yucatán. Parches de > 5 ≤ 10 m de altura, con porcentaje > 25 ≤ 50 de <i>Laguncularia racemosa</i> y <i>Rhizophora mangle</i> , y porcentaje ≥ 2 ≤ 25 de <i>Avicennia germinans</i>	61
Figura 18. Distribución espacial de la cobertura de la clase 7 en la región Norte de Yucatán. Parches de > 5 ≤ 10 m de altura, con porcentaje > 50 ≤ 75 de <i>Rhizophora mangle</i> y porcentaje ≥ 2 ≤ 25 de <i>Avicennia germinans</i>	62
Figura 19. Distribución espacial de la cobertura de la clase 7 en la región Norte de Yucatán. Parches de >10 m de altura, con porcentaje > 50 ≤ 75 de <i>Rhizophora mangle</i> y porcentaje ≥ 2 ≤ 25 de <i>Avicennia germinans</i> y <i>Conacarpus erectus</i>	63
Figura 20. Distribución espacial de la cobertura de la clase 8 en la región Norte de Yucatán. Caracterizada por parches de gran altura, con un alto porcentaje de <i>Rhizophora mangle</i> , porcentaje medio de <i>Conacarpus erectus</i> y bajo porcentaje de <i>Avicennia germinans</i>	63
Figura 21. Distribución espacial de la cobertura de la clase 10 en la región Norte de Yucatán. Parches de > 1 ≤ 5 m de altura, con porcentaje > 50 ≤ 75 de <i>Rhizophora mangle</i> y porcentaje > 25 ≤ 50 de <i>Conacarpus erectus</i>	65
Figura 22. Porcentaje de hectáreas totales cubiertas por los tipos de hábitat de manglar.	68
Figura 23. Número de parches totales de los tipos de hábitat de manglar.....	69
Figura 24. Relación entre el área de los polígonos y su frecuencia. La línea en azul representa el patrón de fragmentación presente dentro del ANP y la línea en color rojo representa el patrón de fragmentación presente en el área fuera del ANP. Presentan una tendencia potencial ajustada mediante logaritmos.....	71

Figura 25. Porcentaje de número total de polígonos (fragmentación) por clase en las dos sub-zonas de estudio.	72
Figura 26. Porcentaje del área total de los polígonos en cada clase, en las dos sub-zonas de estudio.	73
Figura 27. Representación gráfica de la prueba de Tukey. Las clases 1 (azul), 5 (café), 6 (verde), 7 (morado), estadísticamente presentan una diferencia significativa $p < 0.05$. La función multicompare en el software Matlab (v. 2008), muestra un gráfico de cada grupo representado por un símbolo. En el cual dos medias son significativamente diferentes si sus intervalos que los rodean no se cruzan entre sí.	74
Figura 28. (a) Mediana de la compactación por tipo de hábitat en las áreas contrastadas. Las líneas negras representan el cuartil superior e inferior para cada tipo de hábitat. (b) Representación gráfica de la prueba de Tukey, la clase 7 (morado) presenta una diferencia significativa ($p < 0.05$).	75

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para el cálculo del diámetro de un círculo a partir de su circunferencia.	39
Ecuación 2. Fórmula para el cálculo del NDVI	42
Ecuación 3. Fórmula para el cálculo de la compactación de los polígonos.....	47

1. INTRODUCCIÓN

El término humedales, más que definitorio es un término que involucra aspectos descriptivos, este incluye de manera genérica a un variado grupo de sistemas y ambientes con características muy diversas, las cuales se distribuyen a nivel mundial pero que tienen propiedades comunes que permiten su asociación (INE, 2004). El término humedal (*wetland*), fue empleado por primera vez por la Agencia Norteamericana US Fish and Wildlife Service, a raíz de una propuesta para inventariar los ambientes donde se ubican poblaciones de aves acuáticas, aplicando oficialmente este término a mediados de la década de 1950-1960 (Tomlinson, 1986).

Los nombres que reciben estos ambientes son muy variados y aún bajo la misma denominación estos presentan un amplio espectro de características ambientales que les hacen diferentes entre sí. Sin embargo, la tarea de aunar experiencias para elaborar una definición precisa de humedal es eminentemente polémica y muy complicada, porque existen muchos tipos de humedales lo que no hace sencilla su delimitación. Así mismo se añade el hecho de que muchos humedales cambian a lo largo del tiempo, ocupan el espacio que hay entre los ambientes húmedos y los medios generalmente secos por lo que poseen características de ambos, y por lo tanto, no pueden ser clasificados categóricamente como acuáticos ni terrestres. Sin embargo, de acuerdo a Barbier. *et al* (1997) podemos considerar a un humedal como una región cubierta por agua durante periodos bastantes prolongados como para alterar los suelos, los microorganismos y las comunidades de flora y fauna, hasta el punto de que el suelo no actúa como en los

hábitats acuáticos o terrestres. Así mismo, existe un consenso general el cual reconoce que dos de las principales particularidades de los humedales son: la abundancia de agua, por lo menos durante una época del año y una alta diversidad de aves acuáticas (Gopal, 2003).

Los grandes impactos positivos que los humedales generan (como por ejemplo, la captación de CO₂), favorecieron que en 1971 se firmará la primera Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional en la localidad de Ramsar, Irán. En términos generales, los estatus que se establecen dentro de la Convención de Ramsar permiten la inclusión de localidades representativas de humedales a una lista tomando como características fundamentales su importancia ecológica, botánica, zoológica, limnológica o hidrológica (RAMSAR, 1971). Gracias a ello, más de 100 Estados han adoptado una definición de humedales de acuerdo a lo establecido en la Convención Ramsar que los define como:

Extensiones de marismas, pantanos o turberas cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanente o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saldas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros (Barbier. et al, 1997).

Además la Convención estipula que los humedales:

“Podrán comprender zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal” (Barbier. et al, 1997).

De acuerdo a Scott (1989) se pueden identificar cinco grandes sistemas de humedales a nivel mundial los cuales son:

- Estuarios.- Donde los ríos desembocan en el mar y el agua alcanza una salinidad equivalente a la media de agua dulce y salada (deltas, bancos fangosos y marismas).
- Marinos.- Los que no resultan afectados por los caudales fluviales (litorales y arrecifes de coral).
- Fluviales.- Las tierras anegadas periódicamente como resultado del desbordamiento de los ríos (llanuras de inundación, bosques anegados y lagos de meandro).
- Palustres.- Los que contienen aguas relativamente permanentes (marismas y ciénegas).
- Lacustres.- Zonas cubiertas de aguas permanentes caracterizadas por una baja circulación (lagunas, lagos glaciales y lagos de cráteres de volcanes).

Como parte de ello a la fecha se han designado un total de 1967 sitios de importancia internacional, que incluyen alrededor de más de 190 millones de hectáreas, cifra va en constante aumento (<http://www.ramsar.org>). En el caso de México, éste se adhirió a la Convención Ramsar en noviembre de 1986 y actualmente cuenta con más de 135 sitios designados bajo esta categoría (INE, 2004).

México es uno de los países privilegiados por su gran biodiversidad y se le ubica en el cuarto lugar entre los países megadiversos. Las características que hacen a

México un país con esa etiqueta derivan principalmente de su ubicación geográfica y de su relieve (CONABIO, 2009). Los humedales constituyen una superficie importante dentro del territorio nacional, entre ellos los manglares, son de gran importancia por la riqueza natural que encierran y los servicios ambientales que prestan. Su importante papel ecológico y económico ha sido reconocido internacionalmente, México junto con Indonesia, Brasil, Nigeria y Australia es uno de los cinco países con mayor superficie de cobertura de manglar (CONABIO, 2009). A pesar de la reconocida importancia de los manglares, la cobertura ha presentado una disminución considerable principalmente por actividades relacionadas con la acuicultura, explotación de madera, desarrollo de infraestructura costera para el turismo y la agricultura (Field 2000; Ruiz y Acosta 2008).

Este estudio, caracteriza el bosque de manglar en la Reserva Estatal “El Palmar” designada como sitio Ramsar en el 2003, y evalúa el posible efecto del Área Natural Protegida (ANP) en contraste con el área adyacente de desarrollo costero de Sisal considerando características del paisaje.

2. MARCO TEORICO

2.1. Manglares

Los manglares son ecosistemas formados por comunidades vegetales como árboles, arbustos y otras plantas tolerantes a la salinidad. Se desarrollan en aguas salobres a salinas de las zonas intermareales en latitudes tropicales y subtropicales del mundo (CONABIO, 2009; MacNae, 1968). Estas comunidades vegetales se distinguen como una agrupación arbórea con escasa o ausente vegetación herbácea que pueden formar desde pequeños grupos aislados de poca altura (3 m), hasta grandes extensiones boscosas con alturas de 25 y 30 m y en algunos casos hasta de 50 m, cuya distribución está determinada por factores medioambientales. La temperatura, la incidencia de la lluvia, la salinidad en el agua, la fuerza y amplitud de las mareas, la textura del suelo y los componentes físico-químicos del sustrato y la geomorfología de la costa, entre otros, son factores que provocan que en las poblaciones existan cambios suficientemente variables para ser distinguidas, ya sea como alguno de los tipos arbustivos o bosques. Bajo ese ambiente, cada comunidad presenta su propio sistema de regulación, su propia funcionalidad y su propia complejidad de ordenación individual (Chapman, 1977). Así mismo los manglares son un tipo importante de ecosistema que permiten la transición entre los ecosistemas terrestres y marinos del planeta, ejerciendo así una conectividad con otros humedales como los pastos marinos y los arrecifes de coral, con lo cual permite un constante flujo energético entre los ecosistemas (CONABIO, 2008).

2.2. Distribución de los ecosistemas de manglar

Existen dos grandes centros de diversidad de manglares en el mundo (Tomlison, 1986). El grupo oriental, que es un área extensa en el hemisferio Norte desde las costas de África oriental, Mar rojo, Arabia, India, Malasia, Tailandia, Indonesia y Filipinas, hasta Japón, Australia, Nueva Zelanda y una gran extensión del Pacífico Insular. Esta es la zona de mayor riqueza florística de los manglares con 44 especies. El segundo centro o grupo occidental, comprende las costas del occidente de África y las costas del Pacífico, desde México hasta el norte de Perú. Sin embargo, en este último grupo un número reducido de especies ha podido colonizar el área americana, donde de acuerdo a algunos estudios solo se reporta la existencia de 11 especies (Tomlison, 1986).

Los manglares cubren aproximadamente el 75% de la línea de costa en todo el mundo, localizados entre los 30 ° N y 30° S (Kangas y Lugo, 1990). A nivel mundial, se ha documentado la existencia de ~ 240,000 km² de superficie cubierta por manglares (Spalding. *et al*, 1997; Mitsch y Gosselink, 2000). En el continente Americano (Tabla 1), los manglares se encuentran representados por las siguientes especies: *Rhizophora mangle*; *Rhizophora harrisonii*; *Rhizophora racemosa*; *Laguncularia racemosa*; *Avicennia germinans*; *Avicennia bicolor*; *Conocarpus erectus* y *Pelliciera rhizophorae* (Rico, 1993). La distribución actual en la región del Atlántico se registra desde la Bahía de Tampa, Florida en 27° 04' N hasta el río Araranguá en Santa Catarina en 28° 30' S, en el sur de Brasil (Shaeffer. *et al*, 1990). En el lado del Pacífico se llegan a encontrar manglares, desde Bahía de los Ángeles en el Noroeste de México en 29° 02' N, hasta la Bahía

de San Pedro Vice 05° 34' S en el Noroeste de Perú (Pacheco. *et al*, 2006). En el caso de *Pelliciera rhizophorae*, *Rhizophora racemosa*, *Rhizophora harrisonii* y *Avicennia bicolor*, su distribución está restringida al Mar Caribe en Centroamérica (Rico, 1993).

Tabla 1. Extensión de manglar en países americanos (Tomado de Suman, 1994 *In* Herrera. *et al*, 1998)

País	Extensión de Manglar (ha)	Territorio Nacional (km ²)	% del territorio cubierto por manglar
Cuba	532400	115000	4.63
México	488367	1973000	0.25
Colombia	346300	1139000	0.3
Venezuela	260000	912000	0.29
Panamá	170800	77000	2.22
Ecuador	162000	284000	0.57
Nicaragua	155000	130000	1.19
Honduras	145800	112000	1.3
Costa Rica	41000	51000	0.8
R. Dominicana	41000	49000	0.84
EL Salvador	26800	21000	1.28
Guatemala	16000	109000	0.15
Puerto Rico	9300	9000	1.03

En México (Figura 1), los manglares se distribuyen a lo largo de la Costas del Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe, en diecisiete estados costeros donde predominan cuatro especies: *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conacarpus erectus*. Estas cuatro especies se encuentran sujetas a protección especial de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM)-O59 SEMARNAT-2001 (CONABIO, 2009). Según las últimas estimaciones de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2009) la

superficie de manglar para México es de 770,057 hectáreas, este dato se contrasta con lo observado en la Tabla 1, en donde se reporta que la superficie de manglar para México para el año de 1998 es de 488,367 hectáreas. Las diferencias probablemente se deben a las técnicas utilizadas.

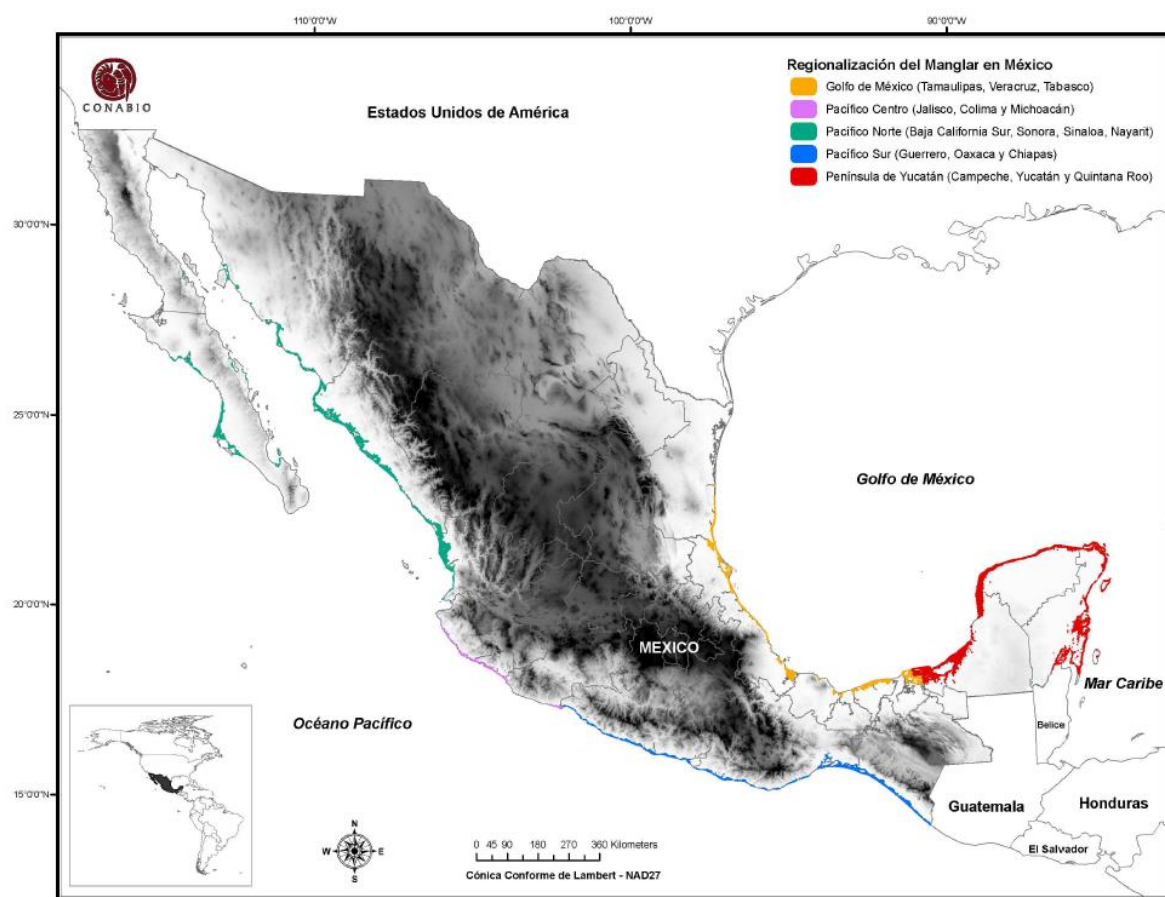


Figura 1. Distribución de los manglares por región en México.
Fuente: <http://www.conabio.gob.mx>

2.3. Tipos fisonómicos, estructurales y zonación del manglar

Los ecosistemas de manglar exhiben una gran variabilidad en su estructura que corresponde a los parámetros medio ambientales, físico y químicos del agua y del sustrato en donde crecen. En estos factores se incluyen concentraciones de nutrientes aportados por los ríos o escurrimientos terrígenos, precipitación e intensidad de evaporación, nivel topográfico, frecuencia y períodos de inundación por la marea, y composición del sedimento (Gaona, 2007).

La zonación vegetal en manglares fue en un principio interpretada como una consecuencia de la colonización y sucesión ecológica. Sin embargo se ha sugerido que la zonación es el resultado de la respuesta diferencial de las especies a gradientes de factores fisiológicamente importantes, tales como la salinidad, el nivel de inundación y los niveles de marea, las propiedades del suelo, incluyendo la fertilidad (Ball, 1980). De acuerdo con Rabinowitz (1978) la zonación en manglares es el producto de la influencia de la marea en la distribución por tamaños de los propágulos (*tidal sorting*) mientras estos flotan. Sus investigaciones mostraron que el tamaño del propágulo y la longitud del hipocótilo son factores importantes que condicionan la dispersión de los manglares. Sus resultados sugieren que las plántulas con hipocótilos más largos tenderán a establecerse en aguas más profundas, en tanto que las plántulas con hipocótilos más pequeños se establecerán en aguas más someras.

Las explicaciones antes mencionadas no son mutuamente excluyentes como posibles causas de la zonación en manglares. Esto es, la zonación puede ser

consecuencia conjunta del potencial de dispersión de sus propágulos, de la respuesta de las especies a factores abióticos y de las interacciones competitivas intraespecíficas (Ezcurra. *et al*, 2007). Como ejemplo en el caso de los manglares de México, es posible encontrar bosques monoespecíficos o mixtos creciendo en suelos con niveles de inundación comparables y, hay áreas, con un potencial de distribución por mareas semejante, que mantienen especies diferentes. Estos cambios en composición posiblemente están relacionados con la salinidad y el ambiente geomorfológico (Ezcurra. *et al*, 2007).

Así mismo existen presiones naturales que están relacionadas indirectamente con la fisonomía del manglar como podría ser, las sequias prolongadas, altas salinidades y la herbivoría, las cuales pueden en su caso devenir en plagas.

En este contexto estructural Lugo y Snedaker (1974) identificaron varios tipos fisionómicos de comunidades de manglar basándose en sus características estructurales, producción de hojarasca, tasa de degradación y exportación de detritus.

En México se presentan principalmente 3 tipos fisionómicos de manglar (Figura 2): marginal, ribereño y cuenca (Hernández, 1996).

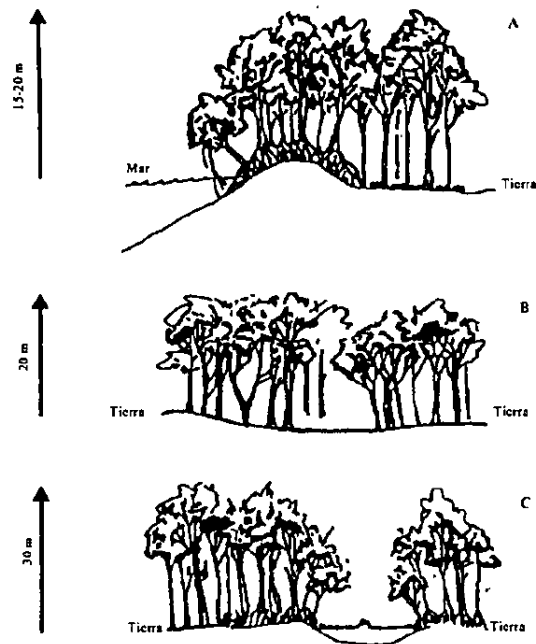


Figura 2. Principales tipos fisionómicos de bosques de manglar. Tomado de (Rodríguez, 2000):

(A) Marginal, (B) Cuenca y (C) Ribereño

A escala local, en el norte de la Península de Yucatán (PY), en cada ambiente de manglar; ya sea seco o húmedo, se pueden observar diferentes tipos fisionómicos, esto es porque hay diferencias en la altura, número (densidad) y grueso del tronco (área basal) de los árboles, es decir en la estructura de la vegetación, así como en la frecuencia y nivel de inundación (hidroperiodo). En base a estas características en el norte de Yucatán se tienen cuatro tipos de manglar (Herrera y Zaldívar, 2010).

1. Manglar de franja: Este tipo de manglares se localiza principalmente en la línea de costa, particularmente en Dzilam y en lagunas costeras. En el caso de Celestún, este tipo de manglar recibe la influencia de la marea, por lo

que se inundan y secan casi diariamente. Están directamente expuestos a los vientos, y la especie dominante es *Rhizophora mangle*.

2. Manglar de cuenca: Estos se localizan detrás del manglar de franja hacia tierra adentro en zonas bajas (depresiones topográficas). La influencia de la marea es menor comparado con los de tipo de franja. En cuanto a la especie dominante esta depende de la salinidad y concentración de nutrientes, pueden ser bosques monoespecíficos o mezclados de *Avicennia germinans* (zona marina de Celestún y Sisal) si el sitio registra salinidades altas (>40 UPS), y de *Laguncularia racemosa* (zona interna de Celestún y Dzemul) si la salinidad es relativamente baja (<30 UPS).
3. Manglar chaparro: Estos son manglares localizados en el escenario húmedo. Su altura promedio es entre 1.5 y 2.5 m y, se encuentran en condiciones con limitación de nutrientes en el sedimento y alta salinidad (Celestún). La especie dominante que aquí se presenta es *Rhizophora mangle*.
4. Manglar de peten: Estos son manglares asociados a un cuerpo de agua conocidos como ojos de agua o manantiales, adquieren alturas promedios alrededor de los 15 m, debido a las elevadas concentraciones de nutrientes, baja salinidad y suelos con una gruesa capa de materia orgánica. *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa* son las especies dominantes. Este tipo de manglar es particularmente frecuente en Celestún, El Palmar y Dzilam.

Las características de la estructura, la productividad y la exportación de detritus a lo largo de un gradiente de hidrología y nutrientes definen cada uno de los tipos de manglar. Por lo tanto la biomasa, la altura, la producción de hojarasca y la descomposición se incrementa del manglar chaparro al ribereño (Twilley, 1999).

2.4. Servicios ambientales proporcionados por los manglares

Los humedales costeros, en particular los manglares, brindan una gran variedad de servicios ambientales importantes para el hombre. Estos ecosistemas, al ser zonas de alimentación, refugio y crecimiento de juveniles de crustáceos y alevines, funcionan como hábitat importante para las pesquerías de plataforma continental, por lo que sostienen una elevada producción pesquera, además de ello, estas son fuentes de energía (ejemplo. Explotación de leña) y poseen un alto valor estético y recreativo (Tomlinson, 1986; Baran y Hambrey, 1998; Osborne, 2000). Al mismo tiempo, los manglares actúan como sistemas naturales de control de inundaciones de la zona costera, así como barrera contra huracanes e intrusión salina, controlan la erosión y protegen la costas, mejoran la calidad del agua al fungir como filtros biológicos removiendo nutrientes y toxinas, contribuyen en el mantenimiento de sistemas y procesos naturales tales como respuestas a cambios en el nivel del mar, mantienen procesos de sedimentación y funcionan como trampas de carbono y la recarga de agua en los acuíferos. Así mismo sirven de refugio de una gran cantidad de flora y fauna (Day. *et al*, 1987; Flores, 1989; McKee, 1996; Osborne, 2000).

A nivel mundial el valor que proporciona este ecosistema a través de los servicios ambientales se estima en alrededor de 1,648 millones de dólares por año (Costanza. *et al*, 1997). Mientras que en México considerando solamente el servicio que proporciona a las pesquerías (como área de refugio), el valor estimado es de alrededor de 37,500 de dólares por hectárea (Aburto. *et al*, 2008).

2.5. Amenazas e impactos en los ecosistemas de manglar

Las regiones tropicales de México presentan diversas características climáticas y edáficas relacionadas con una gran diversidad florística y faunística, lo que a su vez constituye una fuente de recursos naturales en dichas zonas. Sin embargo, esta situación puede revertirse cuando se presentan alteraciones tanto naturales como antrópicas

Como en todas las comunidades naturales de México, la deforestación y la sustitución por zonas transformadas han provocado la disminución de la cobertura natural de los manglares. Para el caso de los manglares de la República Mexicana se tiene registrado una tasa de deforestación del 19.7% desde 1986 al 2001 (OIMT, 2001). La situación geográfica de los manglares en estuarios, lagunas costeras y planicies inundables conduce a un conflicto entre el uso que se quiere dar a las costas y la conservación de esta comunidad de la zona intermareal (Ugalde, 2007). Desde los años 60 del siglo pasado, a los manglares se les considera como áreas insalubres, criaderos de mosquitos, zonas que deberían ser “mejoradas” para cultivos. Esta visión aún prevalece en la mente de desarrolladores de la infraestructura en la zona costera (Ugalde, 2007).

El ecosistema de manglar se encuentra amenazado por cambios de uso de suelo, escorrentía de agua de origen agrícola, industrial y urbano, así como otras actividades que se desarrollan dentro de la zona costera. (Berlangua. *et al*, 2006). A pesar de su importancia ecológica, económica y social, la extensión de los manglares ha disminuido, aproximadamente un 35% a nivel mundial durante las últimas dos décadas, siendo el auge en el desarrollo turístico de la costa y la expansión mundial de la actividad de la acuicultura, los principales factores en la degradación de estos ecosistemas (Valiela. *et al*, 2001).

En México, las cifras sobre la pérdida de manglares en los últimas dos décadas son discordantes como se puede observar en la tabla 2, con variaciones importantes (a veces mayores al 30%) en un mismo año. Esto probablemente esté relacionado a las diferentes técnicas utilizadas para obtener las estimaciones (CONABIO, 2007).

Tabla 2. Referencia Histórica cobertura del manglar en México (CONABIO, 2007)

AÑO	Área (ha)
1973	700,000
1980	660,000
1986	660,000
1991	660,445
1992	932,800
1992	531,500
1993	524,600
1993	721,554
1994	488,367
1994	488,000
1994	718,645
2000	440,000
2000	500,000
2000	886,761
2000	814,100
2002	955,866
2005	914,610

Los manglares pueden ser perturbados de manera directa o indirecta. De manera directa los bosques de manglar son cortados para la extracción de madera y utilizados en postería, cimbra para la construcción y, como carbón y leña (Kovacs, 1999). En las localidades donde alcanzan tallas grandes, la madera se emplea en construcciones rurales, para hacer vigas, durmientes y pequeñas construcciones navales así como en la fabricación de instrumentos rústicos. En las lagunas costeras las ramas se utilizan para la construcción de diversas artes de pesca. Los taninos tienen uso en curtidos y tinciones y se les emplea como medio popular para diversas dolencias dadas sus propiedades astringentes y desinfectantes (Herrera. *et al*, 1998).

El efecto indirecto de perturbación de manglares es quizá el más frecuente, y esto sucede cuando se abren caminos, se construyen carreteras, se urbanizan zonas costeras, se construyen desarrollos turísticos y cuando se realizan obras de infraestructura para explotar y transportar el petróleo o líneas de distribución de energía eléctrica (Ugalde, 2007).

Las actividades humanas constituyen la principal amenaza para los manglares. Los desechos sólidos urbanos, contaminantes industriales, pesticidas y fertilizantes agrícolas, derrames de petróleo, así como las modificaciones a las condiciones hidrobiológicas han tenido un gran impacto sobre este ecosistema. Así mismo, la sobreexplotación de algunas especies altera substancialmente su composición, estructura y función (CONABIO, 2009).

2.6. Descripción del escenario ambiental en Yucatán

Los humedales de manglar dominan el litoral costero de la Estado de Yucatán con una extensión aproximada de 73,900 ha, de las cuales gran parte se encuentran distribuidas en la Reserva de la Biosfera Ría Celestún y en la Reserva Estatal Bocas de Dzilam. Las características del suelo y relieve de la península de Yucatán no permite la presencia de ríos y flujos superficiales del agua continental. La condición cárstica del suelo significa que las rocas porosas y por lo tanto toda el agua que llueve se filtra rápidamente al subsuelo. El agua se filtra en una compleja red de ríos subterráneos y cuando llegan a la costa descargan a manera de manantiales (Herrera. *et al*, 2010).

En Yucatán los flujos de agua subterránea dominantes son hacia los extremos oriente y poniente de la zona costera lo cual coincide con la región conocida como anillo de cenotes. La forma del relieve costero de la península favorece una serie de zonas inundables estacionalmente conocidas como Ciénegas, como lo son las lagunas costeras y estuarios. En ambos casos se encuentran bordeadas por bosques de manglar dominados por *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conacarpus erectus* (Herrera. *et al*, 2010).

En Yucatán los manglares reciben agua de mar por efecto de las mareas y agua dulce de la descarga de los manantiales y la lluvia. Sin embargo, estos aportes no son iguales en toda la costa habiendo localidades donde hay menor influencia de agua dulce (escenario seco), y otras en donde los manantiales son muy abundantes (escenario húmedo). Para el caso del escenario seco, éste se caracteriza porque la inundación está fuertemente influenciadas por la estacionalidad de la lluvia y los aportes de agua dulce como manantiales son escasos, por lo que el suelo de estos manglares es muy salado (hipersalino), y de baja concentración de nutrientes, dando como resultado pocos árboles de tamaño arbustivo (menores a 4 metros de altura), y dominados por *Avicennia germinans*. Este escenario de manglares es común en localidades como Sisal, Progreso, Telchac y Rio Lagartos (Herrera. *et al*, 2010).

El escenario húmedo se caracteriza porque el anillo de cenotes concentra y dirige el agua dulce subterránea hacia dos principales regiones de intercepción con la costa: Celestún- Palmar y Bocas de Dzilam. La interacción del agua subterránea con los manglares favorece que estos se desarrollen con la característica boscosa

con una altura de 5 a 12 metros de altura, con un número de árboles y grueso de los troncos, similares a los que se pueden observar en regiones en donde hay ríos y el clima es húmedo. Este escenario de manglares es dominado por *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa* (Herrera. *et al*, 2010).

2.7. Áreas naturales protegidas como estrategias de conservación

Actualmente, ante la fuerte presión que han ejercido diversas actividades productivas a los ambientes naturales, su protección y conservación, son el centro de atención en la agenda política en materia ambiental (Villalobos, 2000). A raíz de ello la política ambiental desarrolló estrategias orientadas a contener y revertir el deterioro de los ecosistemas y los recursos naturales. Estas estrategias o herramientas buscan la integración de múltiples actores y ámbitos de acción en la conservación de la naturaleza *in situ*, mediante el establecimiento legal de las áreas naturales protegidas (ANP's) (Alarcón, 2008).

Las áreas naturales protegidas constituyen la estrategia central de conservación a nivel internacional. Estas áreas tienen un papel importante en la protección de la diversidad biológica y coadyuvan al mantenimiento y funcionamiento de los ecosistemas (Díaz, 2008)

A nivel mundial las ANP's enfrentan amenazas como son la deforestación, la fragmentación de sus hábitats, la invasión de especies exóticas, la extracción ilegal de recursos, etc. El tipo y la magnitud de estos procesos dependen de múltiples factores, entre los que se encuentran la efectividad del manejo, el contexto político y socioeconómico, las condiciones ambientales y la viabilidad de

las actividades económicas. Todos estos factores inciden en la efectividad de las ANP's para cumplir con sus objetivos de conservación (Goodman, 2003).

Durante décadas, los esfuerzos nacionales para la protección de los ecosistemas estratégicos se concentraron principalmente en decretar a estos bajo algún régimen de protección. En México, las ANP's constituyen el instrumento de política ambiental con mayor definición jurídica para la conservación de la biodiversidad, y de los bienes y servicios ecosistémicos que estos prestan (Chávez, 2002).

De acuerdo con el artículo 3 inciso 2 y el artículo 44 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA), las ANP's se definen como: *Las zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas.*

De acuerdo a SEMARNAT y CONANP (2005), los principales objetivos de las ANP's son:

- Preservar los ambientes naturales representativos de las diferentes regiones biogeográficas y ecológicas del país, así como los ecosistemas frágiles, para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos

- La preservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad en todos sus niveles de organización, en particular las especies en peligro de extinción, amenazadas, raras, sujetas a protección especial y endémicas
- Proporcionar un campo propicio para la investigación científica, así como para el rescate y divulgación de conocimientos y prácticas tradicionales
- Desarrollar tecnologías que permitan conservar la biodiversidad
- Proteger los entornos naturales de otras áreas de importancia cultural como zonas de importancia arqueológica, histórica, artística y turística.

En México existen 175 áreas naturales protegidas de competencia federal que abarcan ~12 % del territorio nacional (CONANP, 2007). Estas pertenecen a seis categorías de manejo, las cuales implican distintos objetivos y actividades permitidas (Tabla 3.)

Tabla 3. Definición de las categorías de manejo de las ANP´s federales de México y las actividades permitidas en ellas (LEGEEPA, 2000)

Categoría	Características
Reservas de la Biosfera	Áreas biogeográficas relevantes a nivel nacional, representativos de uno o más ecosistemas no alterados significativamente por la acción humana, que requieren ser preservados y restaurados, en los que habiten especies representativas de la diversidad nacional, incluyendo a las consideradas endémicas, amenazadas o en peligro de extinción
Parques Nacionales	Representaciones biogeográficas, a nivel nacional, de uno o más ecosistemas importantes por su belleza escénica, su valor científico, educativo, de recreo, su valor histórico, por la existencia de flora y fauna, por su aptitud para el desarrollo del turismo, o bien por otras razones de interés general
Monumentos Naturales	Áreas que contengan uno o varios elementos naturales, consistentes en lugares u objetos naturales, de carácter único o excepcional, interés estético, valor histórico o científico con un régimen de protección absoluta. No tienen Variedad de ecosistemas ni la superficie necesaria para ser incluidos en otras categorías de manejo
Áreas de protección de los Recursos Naturales	Áreas destinadas a la preservación y protección del suelo, las cuencas hidrográficas, las aguas y los recursos naturales localizados en terrenos forestales
Áreas de protección de Flora y Fauna	Lugares que contienen los hábitat de cuyo equilibrio y preservación dependen la existencia, transformación y desarrollo de las especies de flora y fauna silvestres.
Santuarios	Zonas caracterizadas por una considerable riqueza de flora o fauna, o por la presencia de especies, subespecies o hábitats de distribución restringida

3. Justificación

Los ambientes costeros, entre los que se encuentran los bosques de manglar son sistemas complejos y dinámicos caracterizados por su alta productividad, que proporcionan hábitat para una gran cantidad de fauna silvestre y soportan una rica diversidad biológica, desempeñando y otorgando un importante número de servicios ambientales, que a la larga se convertirán en beneficios tanto ambientales, sociales y económicos (Liu y Cameron, 2001). Debido al incremento de las actividades humanas en los ambientes costeros, tanto la funcionalidad, estructura y composición de los manglares se ha venido modificando a lo largo de los últimos años. De igual manera los cambios en los usos del suelo han alterado de manera radical la contribución relativa de las fuentes de nutrientes y su carga, trayendo como consecuencia la eutrofización de las aguas litorales adyacentes a este tipo de ecosistemas (Valiela y Bowen, 2002; Nixon, 1995).

Los manglares de la costa norte de la península de Yucatán han sufrido un proceso creciente e intenso de modificaciones a partir del año de 1948 como consecuencia de las obras del puerto de altura en Progreso y la construcción de carreteras. Entre los años setenta u ochenta se llevó a cabo la construcción de los puertos de abrigo de Yucalpetén, Celestún, Sisal, Dzilam, San Felipe, Río Lagartos y el Cuyo, lo cual en conjunto con la urbanización costera, ocasionó cambios de uso de suelo y, con ello la pérdida gradual de los humedales costeros. Se ha estimado una tasa de deterioro de 4 km² por año y una pérdida de manglares y petenes de 52 km² en un lapso de 43 años en la región costera localizada entre los puestos de Sisal y Progreso (Zaldívar. *et al*, 2010).

No sólo esta condición afecta la cobertura de manglares, otros impactos que alteran su condición son: rellenos por asentamientos humanos, basureros suburbanos y establecimiento de infraestructura para la acuacultura, la tala para la construcción de artes de pesca, y eventos meteorológicos de gran escala como son los huracanes. En septiembre de 2002 los manglares de la costa norte de Yucatán fueron impactados por lo vientos y oleaje del huracán Isidoro, estimándose pérdidas del 70% del total de áreas de manglar en Yucatán (Zaldívar. *et al*, 2010).

Dada la alta perturbación natural y antropogénica al ecosistema de manglar en la región y su importancia por su alta productividad, procesos ecológicos que ocurren en estos y que mantienen su biodiversidad y por lo tanto los servicios ambientales que proporcionan, este estudio describe las características, cobertura y distribución del bosque de manglar en la franja costera de la Reserva Estatal “El Palmar” y área adyacente de desarrollo costero de Sisal y evalúa el efecto del ANP a escala del paisaje. Se espera que esta información sea utilizada para el desarrollo de estrategias adecuadas, a nivel de ecosistema, para el manejo y conservación de los bosques de manglar en la región.

4. Área de estudio

Este trabajo se llevó a cabo en una franja de 3 km de ancho a partir de la línea de costa hacia tierra adentro, en la Reserva Estatal “El Palmar” y área adyacente de Sisal hasta el área conocida como la bocana de la Carbonera (Figura 3)

La Reserva Estatal “El Palmar” se encuentra ubicada en el Estado de Yucatán entre las coordenadas 90° 00' 00" y 90° 22' 30" de longitud Oeste y 20° 55' 00" y 21° 11' 00" de latitud Norte, colindando al Oeste en la Reserva de la Biosfera Ría Celestún y al Este con terrenos del Puerto de Sisal, municipio de Hunucmá. Cuenta con una superficie de 49, 605. 39 hectáreas, incluyendo las franja marina de 9, 442.11 hectáreas; como parte de su zona de influencia al Este incide también sobre la comunidad de Chuburná, municipio de Progreso (SECOL, 2006)

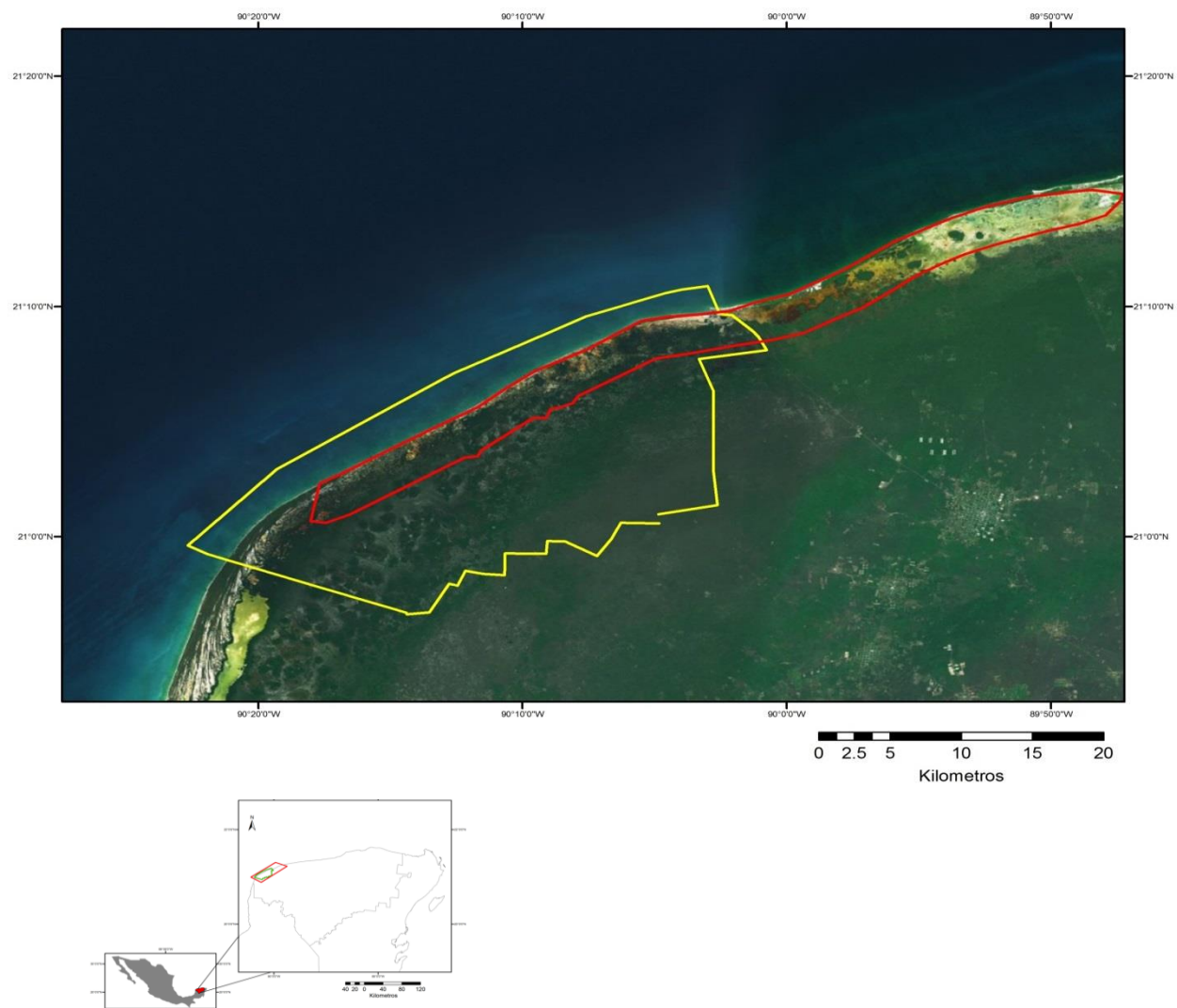


Figura 3. En color amarillo la poligonal de la Reserva Estatal “El Palmar”, y en color rojo la zona de estudio total que abarca una franja de 3 km.

La mayor superficie de la Reserva corresponde al ecosistema de manglar, el cual tiene una superficie de cobertura de 22, 263 ha, se encuentra distribuido en las marismas, éstas están conformadas por el sistema palustre salobre o también conocido como ciénaga, que se prolongan paralelo a la costa desde el límite Oeste de la Reserva, hasta su límite Este.

4.1.1. Condiciones climáticas regionales

El área de la Reserva es una zona de transición climática correspondiente al subtipo BSi(h')W (cálido-seco con un régimen de lluvias de verano y una precipitación invernal entre el 5 y 10%, de acuerdo a la clasificación de Köppen) (Duch, 1988). Dentro de la península este subtipo climático se presenta únicamente en la región de estudio, lo que le confiere características distintivas con respecto a la mayor parte de la franja costera del estado de Yucatán (SECOL, 2006). En la zona existe una temperatura promedio anual de 26°C, con una precipitación promedio anual de 600 mm y la evaporación de 1682 mm. Durante el año se presentan tres marcadas temporadas climáticas: secas, lluvias y nortes (PRONATURA, 2008).

La temporada de secas se da durante los meses de marzo y mayo, se presentan las mínimas precipitaciones de 0 a 20 mm y las más altas temperaturas que ascienden hasta los 43°C. La temporada de lluvias se presenta entre los meses de junio y octubre, siendo septiembre el mes con mayor precipitación 120 mm en promedio. Sin embargo en el año 2004 se registró que la mayor precipitación ocurrió paradójicamente durante los meses de mayo y octubre, para la región

localizada en entre Sisal y Celestún (CONAGUA, 2006). Durante los últimos dos meses de esta temporada es común el arribo de tormentas tropicales y huracanes, que se forman al sur del Mar Caribe y traen como consecuencia precipitaciones que alcanzan un promedio mensual de hasta 380 mm. La tercera temporada marcada durante el año en esta zona, es la denominada temporada de nortes, la cual se presenta durante los meses de noviembre a febrero. Se caracteriza por la afluencia de vientos polares, acompañados de bajas presiones atmosféricas, bajas temperaturas y altas precipitaciones (PRONATURA, 1996).

4.1.2. Suelos

Todos los suelos que se encuentran dentro de la Reserva Estatal del Palmar, pertenecen al orden azonal, lo que significa que el desarrollo de su perfil es incipiente y que están sujetos a un continuo movimiento de material por la acción de los vientos, flujo laminar de agua pluvial e inundación por mareas (SECOL, 2006). Así mismo a partir de la playa hacia adentro, se encuentran depósitos arenosos que se correlacionan con suelos del tipo regosol calcárico; estos son suelos profundos, sin piedras, de color amarillo y textura arenosa, sin estructura y con limitada capacidad de retención de agua. En la misma dirección, tierra adentro, los arenales se encuentran separados de la tierra firme rocosa por una serie de lagunas someras de aguas salobres que forman el sistema de sedimentación palustre. Este se encuentra conformado en su conjunto por una franja de terrenos ganados planos y bajos, inundables y pantanosos, con suelos de color café amarillento y gris, de drenaje limitado en diversos grados, que corresponden a los tipos solonchak y gleysol (Duch, 1988; PRONATURA, 1996).

En la zona de petenes, frecuentemente alrededor de los afloramientos de agua dulces, los suelos reciben considerables aportaciones de materia orgánica, adquiriendo coloraciones más oscuras, lo que corresponde a suelos de tipo histosol. El límite edáfico de mayor salinidad está marcado por una franja de pastos halófilos alternados con selva inundable según los diferentes grados de salinidad del suelo. Esta característica es especial del ecotono que se establece entre el sistema palustre y la vegetación de los petenes, así como entre el mismo sistema palustre y la selva baja subcaducifolia y decidua.

5. Hipótesis

Dado que la Reserva Estatal “El Palmar” limita las actividades antropogénicas que podrían afectar las características del paisaje del bosque de manglar, se esperan encontrar diferencias en la cobertura, fragmentación y compactación entre el área natural protegida y área adyacente de desarrollo costero.

5.1. Objetivo general

Caracterizar el bosque de manglar en la Reserva Estatal “El Palmar” y área adyacente para evaluar el posible efecto del ANP sobre las características del paisaje.

5.2. Objetivos particulares

- Caracterizar en términos de paisaje el bosque de manglar en la franja costera de la Reserva Estatal “El Palmar” y área adyacente de Sisal.

- Construir mapas temáticos de distribución y abundancia del bosque de manglar en el área de estudio.
- Comparar las características del paisaje (área de los polígonos, distribución y fragmentación) del bosque de manglar entre la Reserva Estatal “El Palmar” y área adyacente de Sisal.

6. METODOLOGÍA

6.1. Selección de sitios

Debido a la dificultad de acceso del área de estudio, la selección de sitios de muestreo fue semialeatoria, al escoger sitios que estuvieran a una distancia máxima de 3 km a partir de la costa y tuvieran acceso desde ésta. En total se visitaron 108 estaciones de muestreo distribuidas en la Reserva Estatal el Palmar y zona Este adyacente hasta la bocana de la carbonera (Figura 4).



Figura 4. Ubicación de los sitios de muestreo visitados. El polígono en color rojo representa la zona de estudio total.

6.2. Muestreo de la vegetación

El muestreo de la vegetación se realizó utilizando cuadrantes de 5 x 5 m (25 m²) cuando el diámetro a la altura de pecho (DAP) de los troncos fuera > 2.5 cm y la altura mínima de los árboles fuera de 1.3 m (manglar tipo bosque); en cambio, se utilizaron cuadrantes de 1 x 1 m (1 m²), cuando la vegetación dominante era manglar tipo matorral, con los troncos caracterizados por un DAP < 2.5 cm (Cintron y Schaeffer, 1984; Green. *et al*, 1998; Acosta y Ruíz, 2007). Para cada cuadrante se registró la posición geográfica mediante el uso de un GPS Magellan Mobile Mapper 6 (precisión +/- 1 m) y altura máxima del dosel con un hipsómetro Haglöf (resolución 0.1 m), previamente calibrado. Así mismo se contó el número de especies de manglar y el número de individuos pertenecientes a cada especie. En el caso de manglar tipo bosque, utilizando un vernier (resolución 0.1 cm), además se registró el DAP para cada uno de los individuos observados que presentaran un DAP > 2.5 cm. En aquellos casos donde los troncos presentaban un DAP > 20 cm se midió la circunferencia con cinta métrica y esta fue posteriormente convertida a diámetro mediante la siguiente formula (Ecuación 1).

$$d = c/\pi$$

Ecuación 1. Fórmula para el cálculo del diámetro de un círculo a partir de su circunferencia.

En donde:

d = representa el diámetro

c = representa la circunferencia del tronco

$\pi=3.14159$

Los troncos que presentaban bifurcación por debajo de 1.3 m fueron considerados como individuos distintos (Cintron y Schaeffer, 1984).

6.3. Construcción mapas temáticos

6.3.1. Determinación de los tipos de hábitat de manglar

La información obtenida en campo se capturó en una hoja de cálculo Excel (v. 2010). Para cada una de las estaciones de muestreo se calculó el DAP promedio (en el caso de manglar tipo bosque) la riqueza y densidad específica. Debido a que para el tipo matorral de manglar no era posible obtener el DAP, ya que por convención este se obtiene a una altura mínima de 1.3 m, solamente se utilizaron 73 estaciones en manglar tipo bosque para identificar los tipos de hábitat (clases) de manglar. Esta estrategia también permitió disminuir la incertidumbre de la clasificación (ver sección 6.3.3). La identificación de las distintas clases se realizó mediante un análisis jerárquico con el índice de similitud de Bray-Curtis con el método de agrupamiento ponderado al tamaño del clúster al 80% de similitud, utilizando el DAP promedio, riqueza, densidad específica, y la altura máxima del dosel. Este análisis se llevó a cabo con el software Primer 6.

6.3.2. Pre-procesamiento de imágenes

Se utilizó una escena multiespectral SPOT 5 en color falso con una combinación de bandas (Green, Red, Near-infrared) tomada en el año 2010, la cual fue co-registrada; es el proceso de superponer dos o más imágenes de la misma zona, tomadas en diferentes instantes de tiempo (Prado. *et al*, 2008) y fusionada con una escena pancromática (año 2008). Este proceso permitió aumentar la resolución espacial de la escena a 2.5 m por pixel. (Figura 5). Se construyó un buffer de 3 km a partir de la costa y en combinación con un polígono del área urbana de la localidad de Sisal se delimitó el área de estudio, obteniendo así el área de interés (AOI) utilizadas para los análisis. La escena se georeferenció al sistema de coordenadas geográfico WGS84 con puntos de control tomados en campo.

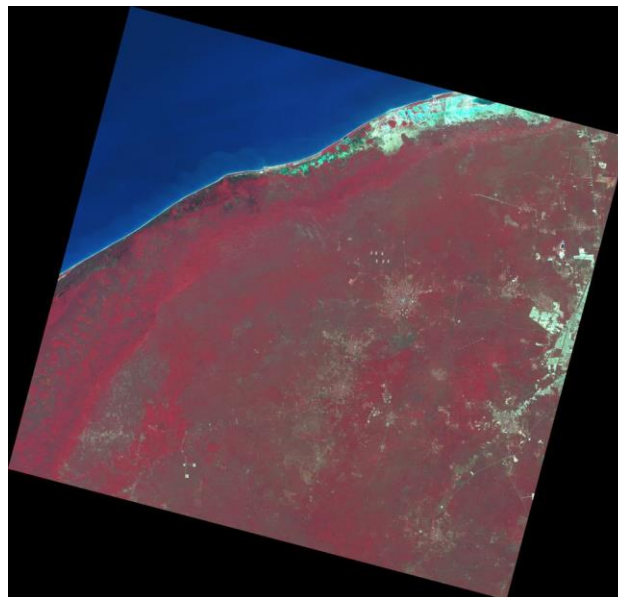


Figura 5. Escena multiespectral SPOT 5, utilizada en el presente estudio, con un ancho de barrido de 60 x 60 km y una resolución espectral de 4 bandas.

Para eliminar del análisis áreas terrestres no cubiertas por vegetación y áreas cubiertas por agua, se construyó una máscara con el Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI por sus siglas en inglés) (ERDAS, 2010) , el cual se presenta en la ecuación 2.

$$NDVI = \frac{\textit{banda del infrarojo cercano} - \textit{banda roja}}{\textit{banda del infrarojo cercano} + \textit{banda roja}}$$

Ecuación 2. Fórmula para el cálculo del NDVI

El NDVI está positivamente correlacionado con el dosel de vegetaciones homogéneas y en general es un buen indicador del estado de la densidad de la vegetación (Green. *et al*, 2006). Los valores de NDVI oscilan entre -1.0 y 1.0, de ellos solo los valores positivos y distintos de 0 corresponden a zonas de vegetación. Los valores negativos y cercanos a 0, generados por una alta reflectancia en el rojo que en el infrarrojo, pertenecen a nubes, agua, zona de suelos desnudos y rocas (Ventura, 2006). Al revisar los valores cercanos a 0 del NDVI con respecto a la escena multiespectral co-registrada y fusionada, se eliminaron de la imagen aquellas áreas que no son de interés de este estudio, obteniendo una escena con las características requeridas (Figura 6). No fue posible eliminar la totalidad de las áreas cubiertas por agua, ya que se observó que en ciertas zonas (ej. agua con alta concentración de taninos) los valores del NDVI cercanos a 0 eran similares a áreas cubiertas por vegetación, por lo que se

procedió con cautela y estas áreas fueron caracterizadas posteriormente mediante sus valores espectrales (G, R, NIR) al momento de hacer la clasificación supervisada.



Figura 6. Área de interés (AOI), enmascarada con el NDVI, los valores cercanos a 0 en la escena, mostrados en color negro, corresponden a áreas no cubiertas por vegetación y por lo tanto no fueron consideradas para el análisis.

6.3.3 Obtención del mapa temático

Para la construcción del archivo de firmas espectrales se utilizó la posición geográfica de solo 73 estaciones de muestreo utilizadas para la caracterización del hábitat. Esto se realizó debido a que al revisar aquellas estaciones en la imagen donde el tipo fisonómico de manglar era el de matorral, no aparecían claramente en la escena. Esto generaría una fuente de error para la clasificación, por lo que las estaciones de muestreo (sitios de entrenamiento), fueron agrupadas en base al dendograma de similitud con un nivel del 80 %, y fueron agregados a la escena mediante el método de siembra de pixeles (Green. *et al*, 2000) para obtener el archivo de firmas espectrales para la clasificación. Se utilizó la posición geográfica de los sitios de entrenamiento para “sembrar” y agrupar pixeles con características espectrales similares tomando como base un radio de 100 pixeles con una similitud euclidiana de 10 (Green. *et al*, 2000).

Utilizando el archivo de firmas espectrales obtenido, se llevó a cabo una clasificación supervisada de la escena multiespectral utilizando como regla de decisión paramétrica el algoritmo de máxima verosimilitud (Schowengerdt, 2007) y obtener la imagen temática de los distintos hábitat de manglar para el área de estudio.

La precisión de la clasificación se evaluó a través de una matriz de error y cálculo del coeficiente de kappa (Congalton, 1991; Green. *et al*, 2000), utilizando los sitios de entrenamiento como sitios de verificación.

6.4. Características generales del paisaje de manglar en el área de estudio

La imagen temática obtenida de la clasificación supervisada fue exportada a un Sistema de Información Geográfica (SIG) para su análisis (ArcMap v10). Utilizando el SIG se calculó el área total y número de parches o polígonos (fragmentación) de los tipos de manglar en el área de estudio. Con este SIG también se llevaron a cabo los cálculos de área, fragmentación y compactación del bosque de manglar entre el ANP y área adyacente descritos en la siguiente sección.

6.5. Comparación de características del paisaje entre el ANP y el área adyacente

Para comparar el área, fragmentación y compactación del bosque de manglar entre la Reserva Estatal “El Palmar” y área adyacente se construyó un polígono de forma rectangular con un área de 13.92 km². Con este polígono se seleccionaron dos áreas espacialmente adyacentes, con el objetivo de minimizar diferencias importantes en las características ambientales (Figura 7). La primer área, completamente dentro del polígono de la Reserva Estatal “El Palmar”, es referida en este escrito como “área dentro” y representa el área sujeta a un esquema de conservación. La segunda área, que abarca una sección del ANP es referida como “área fuera” y representa un área sin esquema de conservación histórico. Se decidió hacer esta partición entre el área fuera y dentro ya que es a partir del lado Oeste del puerto de abrigo de Sisal donde en la práctica se comienza con la

regulación de las actividades dentro del ANP (ej. Ubicación de la caseta de entrada, revisión de cazadores). Aquellos polígonos que se encontraban en las áreas marginales de las áreas definidas, fueron asignados a la sección que contuviera la mayor área.

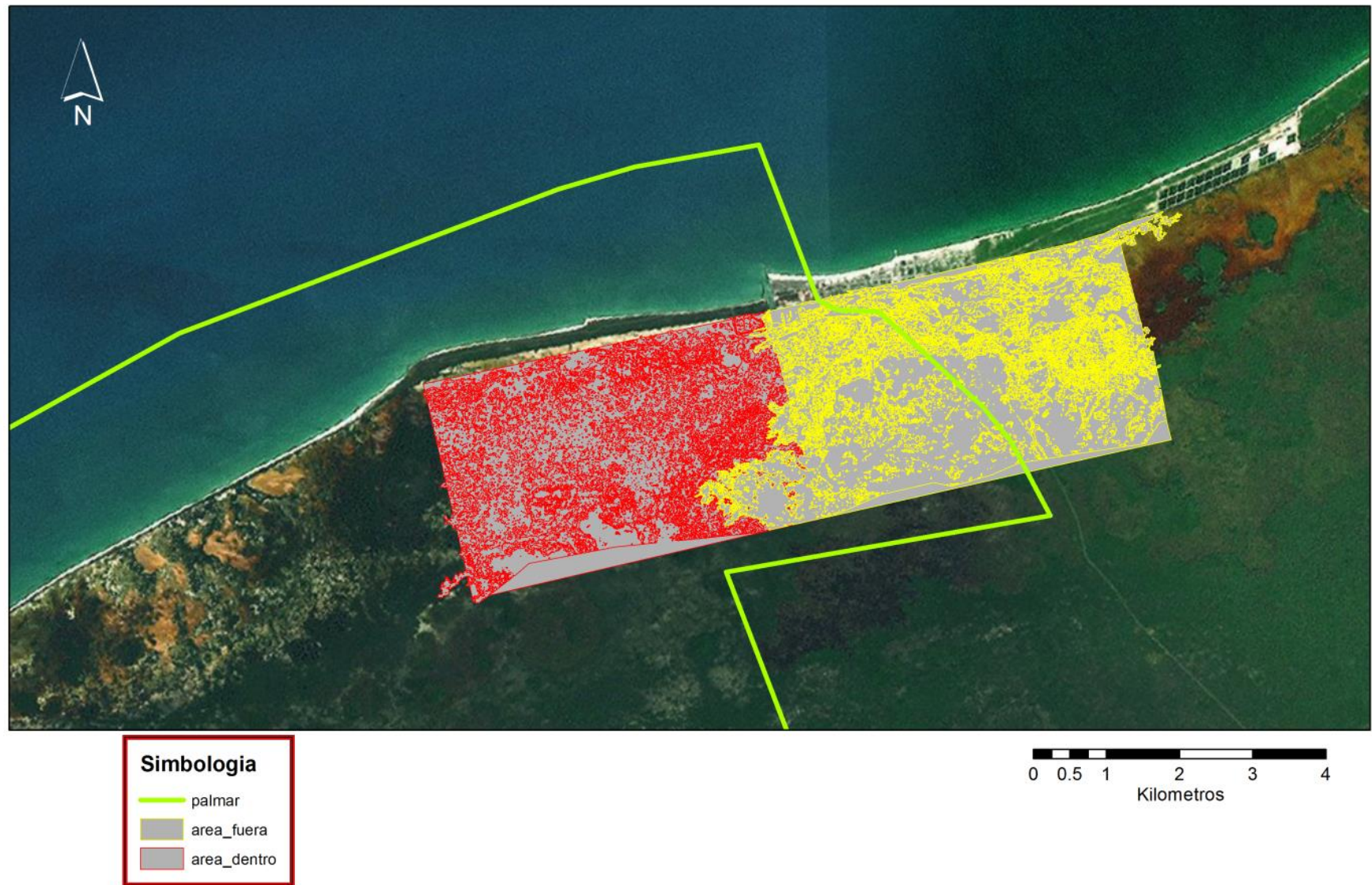


Figura 7. Representación de las áreas divididas para la comparación de la fragmentación, en color rojo se presenta el área que se encuentra dentro y en color amarillo el área que se muestra el área fuera. La línea en color verde corresponde a la poligonal de la Reserva Estatal "El Palmar"

6.5.1. Fragmentación

Para el análisis de la fragmentación se construyó un histograma de frecuencias, con un intervalo de clases de cada 500 m², teniendo como valor máximo 735000 m², para cada área analizada. Se llevó a cabo un análisis de regresión entre la frecuencia y tamaño de los polígonos, además de una prueba de pendientes (Zar, 2010) para determinar si el patrón de fragmentación era distinto entre las dos regiones comparadas. Mediante una prueba de chi-cuadrada se evaluó si la fragmentación de cada uno de los tipos de hábitat de manglar caracterizados difería entre las dos regiones contrastadas.

6.5.2. Área y compactación del hábitat

Se calculó la cobertura (m²) de los tipos de manglar dentro y fuera del ANP. Debido a que el área de las regiones dentro y fuera no eran iguales, los valores se estandarizaron mediante el cálculo del porcentaje de cada clase de manglar con respecto al área total muestreada. Para el cálculo de la compactación se utilizó la relación área/perímetro² (Bogaert. *et al*, 2000) para cada uno de los polígonos (Ecuación 3).

$$Compactación = Área/Perímetro^2$$

Ecuación 3. Fórmula para el cálculo de la compactación de los polígonos

Los datos no tuvieron una distribución normal ($p < 0.05$), condición que se mantuvo al aplicar distintas transformaciones. Por lo tanto para contrastar si existía una diferencia significativa entre el área y compactación de los tipos de hábitat de manglar dentro y fuera del ANP, se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis con la prueba de comparación múltiple de Tukey no paramétrica (Zar, 2010) para identificar diferencias entre pares. Estos análisis se llevaron a cabo con ayuda del software Matlab (v. 2008).

7. RESULTADOS

7.1. Muestreo de la vegetación

El número total de individuos que se registraron en todas las estaciones de muestreo fue de 832 árboles, con una altura de dosel promedio de 6.1 m. De estos, 322 individuos pertenecieron a la especie *Rhizophora mangle*, 334 a la especie *Avicennia germinans* (especie que presentó la mayor proporción de individuos observados), 164 a la especie *Laguncularia racemosa*, y para la especie *Conacarpus erectus* el total de individuos registrados fue de 12 representando la menor proporción observada (Figura 8).

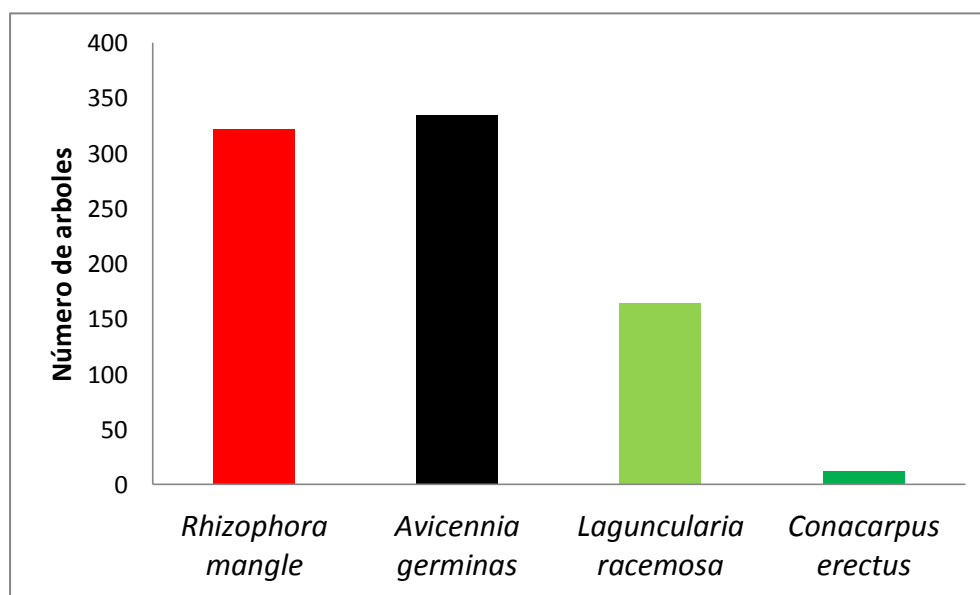


Figura 8. Número de árboles totales registrados en 73 estaciones de muestreo en la Reserva Estatal “El Palmar” y área adyacente.

7.2. Características de los tipos de hábitat de manglar

Utilizando la riqueza y densidad específica, altura máxima de dosel y el diámetro a la altura de pecho a partir de las 73 estaciones de muestreo en la región de estudio, se obtuvo la clasificación de los tipos de hábitat de manglar, resultante del análisis clúster mediante el índice de similitud de Bray-Curtis con un criterio de corte al 80% (Figura 9).

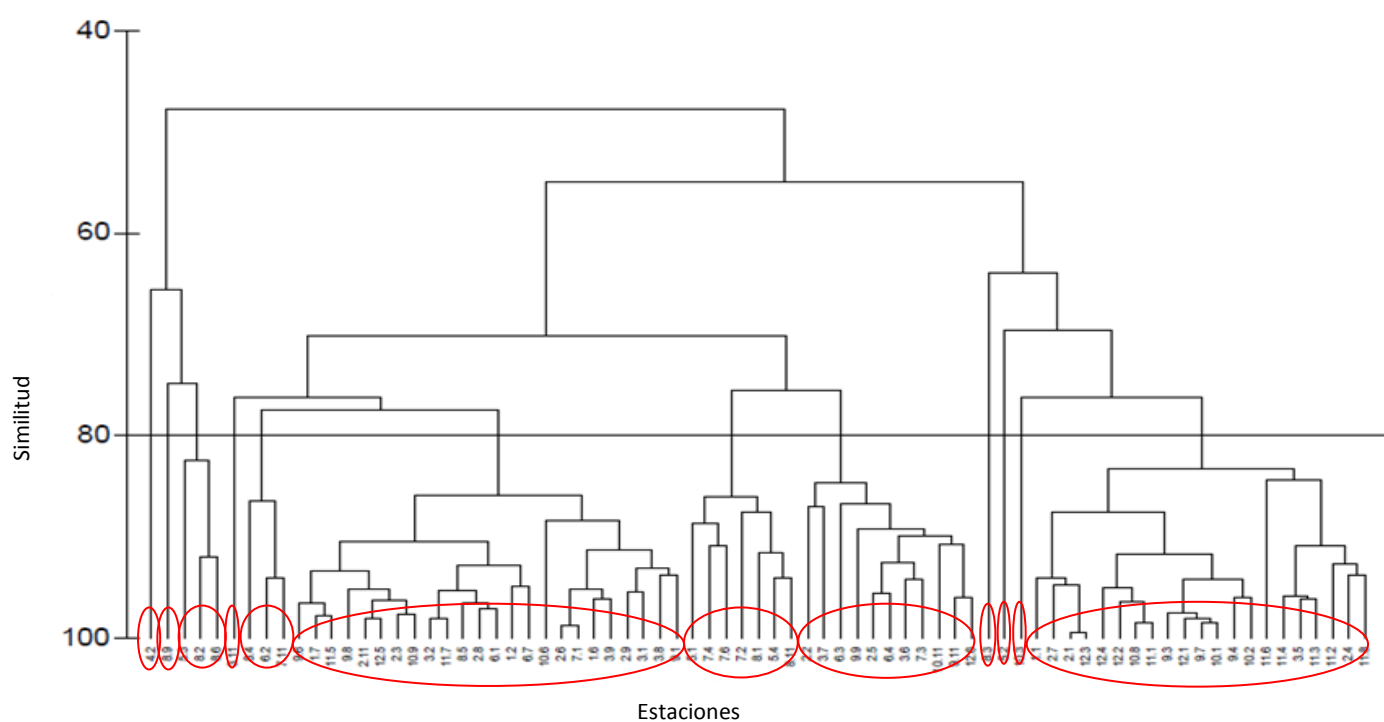


Figura 9. Dendrograma de similitud de las 73 estaciones de muestreo obtenido con el índice de similitud de Bray-Curtis. Los círculos en color rojo indican la agrupación de las estaciones en las distintas clases con una similitud del 80%.

Se identificaron un total de 12 tipos de hábitat de manglar representativos de la región de estudio. Dado que existe una alta confusión espectral entre las clases 8-12 (Figura 10a) y 4-6 (Figura 10b) y considerando su alta similitud ecológica (compuestas principalmente en su mayoría por *Avicennia germinans* y con porcentaje medio de *Rhizophora mangle*), las clases se agruparon en una sola respectivamente. De este modo, se caracterizaron un total de 10 tipos de hábitat de manglar representativos de la región Norte de Yucatán. El agrupar estas clases permitió aumentar la precisión general de la clasificación así como producir un mapa temático menos complejo para el usuario.

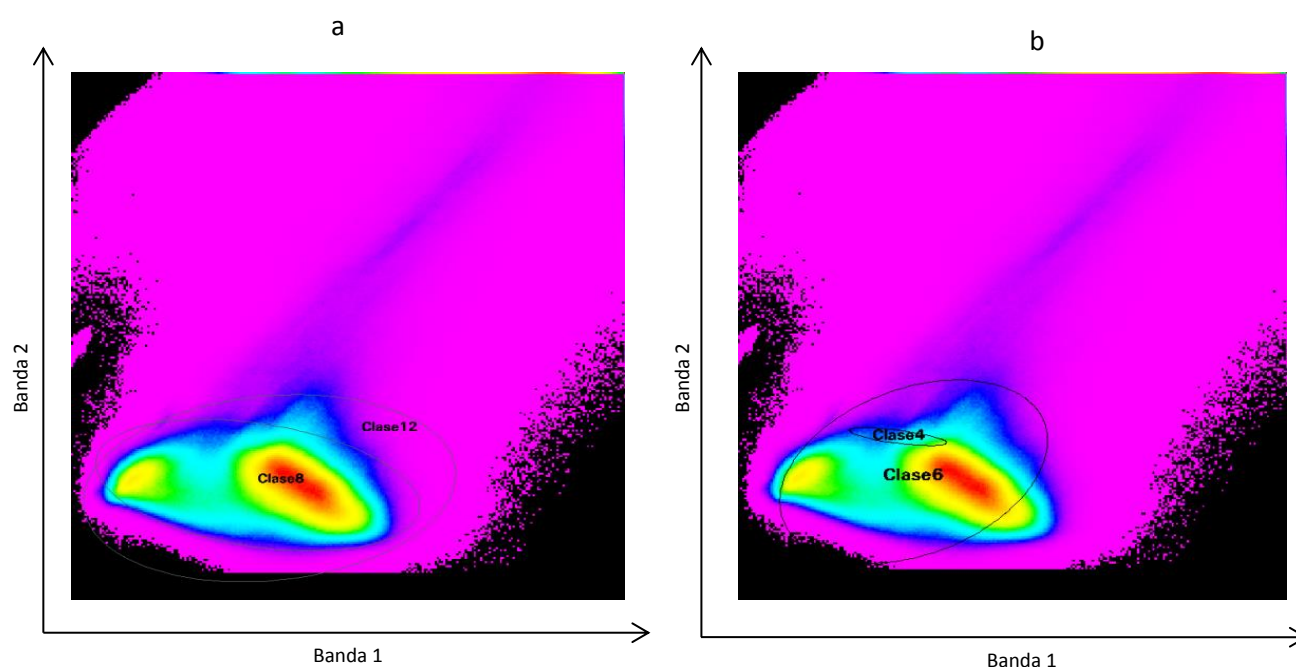


Figura 10. Evaluación de las firmas espectrales. En ambos casos definidos por la frecuencia de los valores de los píxeles entre la banda 1 y banda 2 (ERDAS, 2010). Las elipses representan el intervalo de valores para cada clase. Se observa un traslape en los valores en las firmas espectrales tanto para las clases 8-12 (a), como para las clases 4-6 (b).

En la tabla 4 se describen las características en cuanto a la riqueza específica, altura máxima del dosel y la densidad promedio en m² para cada una de las clases identificadas.

Tabla 4. Tipos de hábitat de manglar. N representa el número de sitios visitados que componen cada clase. Intervalo de porcentaje de cobertura de especies: > 1(presencia), $\geq 2 \leq 25$ (bajo), $25 \leq 50$ (medio), $50 \leq 75$ (alto), > 75 (dominado). Intervalo de alturas promedio: $> 1 \leq 5$ (bajo), $5 \leq 10$ (medio), >10 (alto)

Clase	Descripción	N	Composición de especies %				Altura promedio del dosel (m)	Densidad promedio (ind m ²)
			<i>Rhizophora mangle</i>	<i>Avicennia germinans</i>	<i>Laguncularia racemosa</i>	<i>Conacarpus erectus</i>		
1	Parches de gran altura, con porcentaje alto de <i>Conacarpus erectus</i> y porcentaje medio de <i>Laguncularia racemosa</i> .	1	0	0	33	67	10.9	1.8
2	Parches de gran altura dominados por <i>Laguncularia racemosa</i> .	1	0	0	100	0	15	1.4
3	Parches de altura media, con porcentaje alto de <i>Laguncularia racemosa</i> y presencia de <i>Rhizophora mangle</i> .	3	1	0	99	0	8.7 (5.3-10.5)	7 (4.2-10.2)
4	Parches de altura media, dominados por <i>Avicennia germinans</i> .	25	0	100	0	0	5.6	1.7
5	Parches de baja altura, con porcentaje alto de <i>Avicennia germinans</i> y porcentaje medio de <i>Laguncularia racemosa</i> .	3	0	67	33	0	4.3 (3.4-5.1)	1.4 (1.2-1.6)
6	Parches de altura media, con porcentaje medio de <i>Laguncularia racemosa</i> , porcentaje medio de <i>Rhizophora mangle</i> y porcentaje bajo de <i>Avicennia germinans</i> .	6	32	22	46	0	7.8 (3.4-14.6)	3.0 (2.4-3.4)
7	Parches de altura media, con porcentaje alto de <i>Rhizophora mangle</i> y porcentaje bajo de <i>Avicennia germinans</i> .	31	76	24	0	0	5.4 (2.2-10.7)	2.3 (0.8-5.8)
8	Parches de gran altura, con porcentaje alto de <i>Rhizophora mangle</i> y bajo porcentaje de <i>Conacarpus erectus</i> y <i>Avicennia germinans</i> .	1	67	11	0	22	12.4	1.8
9	Parches de gran altura, con porcentaje alto de <i>Rhizophora mangle</i> y bajo porcentaje de <i>Laguncularia racemosa</i> .	1	85	0	15	0	14	1.4
10	Parches de baja altura, con porcentaje alto de <i>Rhizophora mangle</i> y porcentaje medio de <i>Conacarpus erectus</i> .	1	70	0	0	30	3.7	2.6

7.3. Mapa temático cobertura manglar

Utilizando las firmas espectrales obtenidas de cada sitio de entrenamiento agrupados en las 10 clases de hábitat se llevó a cabo la clasificación supervisada de la escena SPOT 5 pre-procesada (Figura 11). Con el objetivo de aumentar la precisión de la clasificación así como generar un mapa temático poco complejo para el usuario se llevó a cabo un proceso de edición contextual al agregar firmas espectrales para dos clases auxiliares categorizadas como agua con alta concentración de taninos y vegetación de duna costera que fueron posteriormente eliminadas del análisis. Estas áreas no se pudieron enmascarar con el NDVI debido a la similitud de valores con otras áreas de interés.

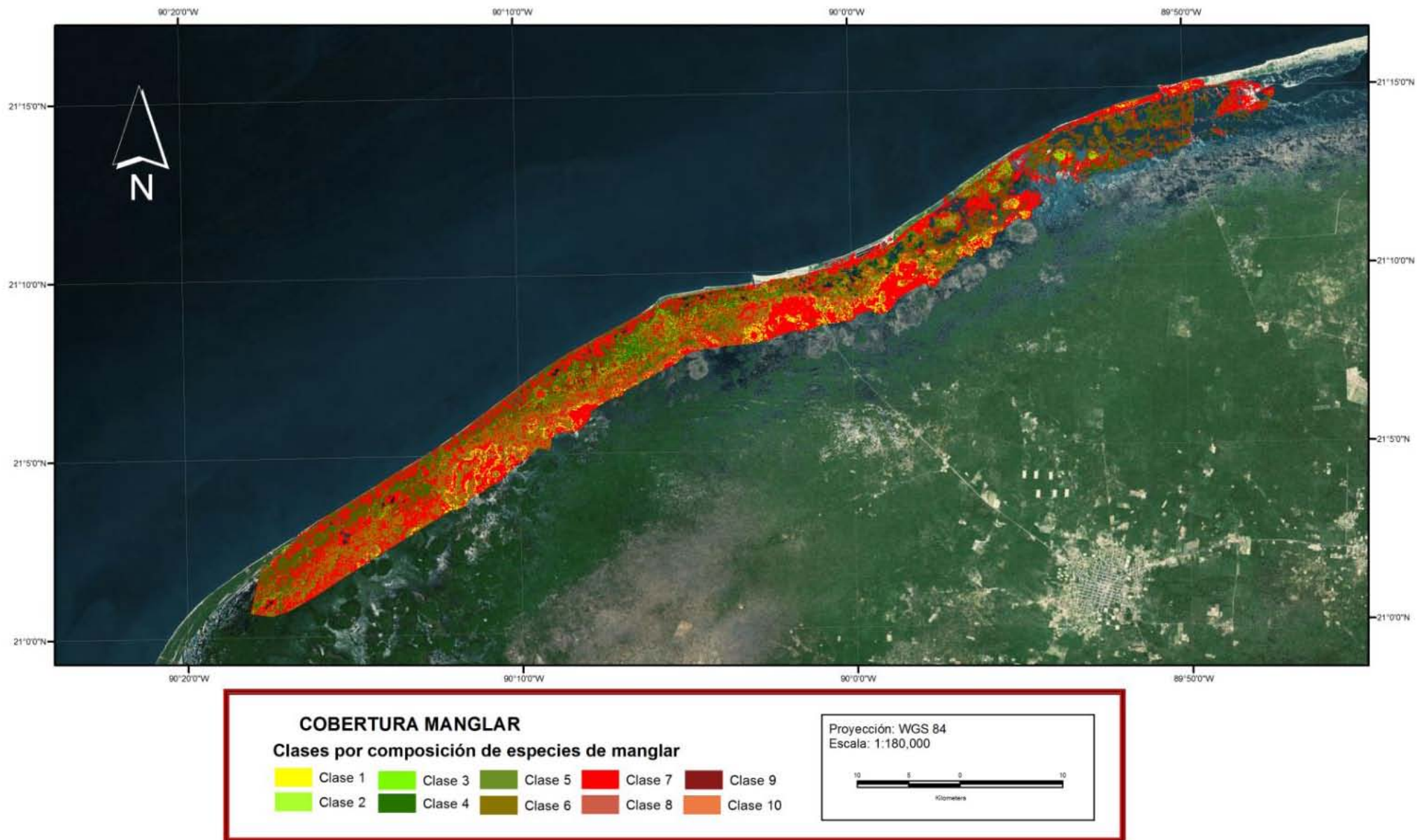


Figura 11. Distribución de los tipos de hábitat de manglar en la región Norte del Estado de Yucatán.

La distribución de la cobertura de la clase 1, caracterizada por ser parches de gran altura con porcentaje alto de *C. erectus* y porcentaje medio de *L. racemosa*, presenta un patrón de cobertura alejado del costa y en general a lo largo de toda el área de estudio (Figura 12).

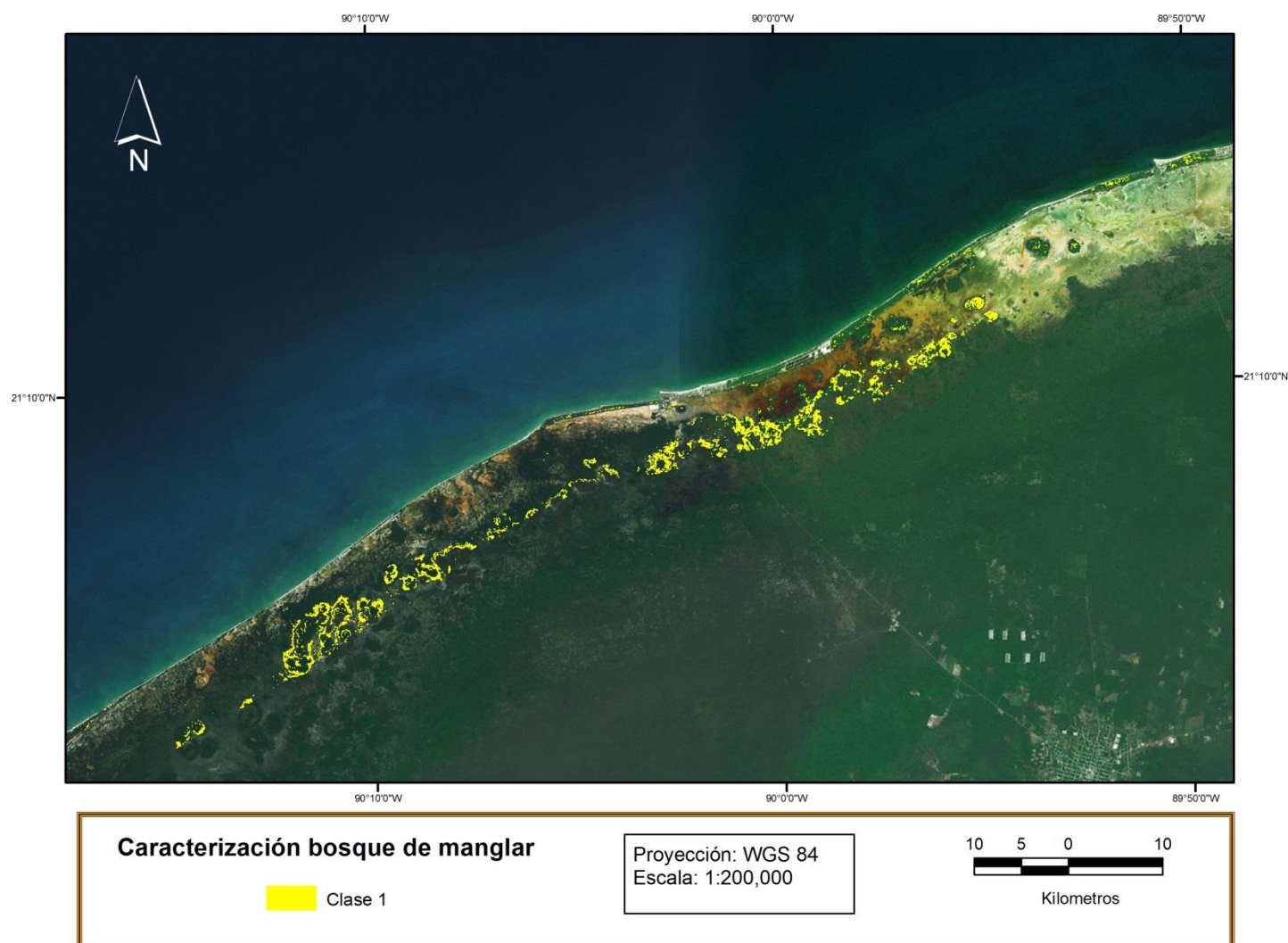


Figura 12. Distribución espacial de la cobertura de la clase 1 en la región Norte de Yucatán. Parches de >10 m de altura, con porcentaje $> 50 \leq 75$ de *Conacarpus erectus* y porcentaje $> 25 \leq 50$ de *Laguncularia racemosa*.

La clase 2, está caracterizada por ser parches de gran altura dominados por *L. racemosa* y presenta baja cobertura en comparación con otras clases. Esta clase solamente se encontró al centro y Este del AOI (Figura 13).

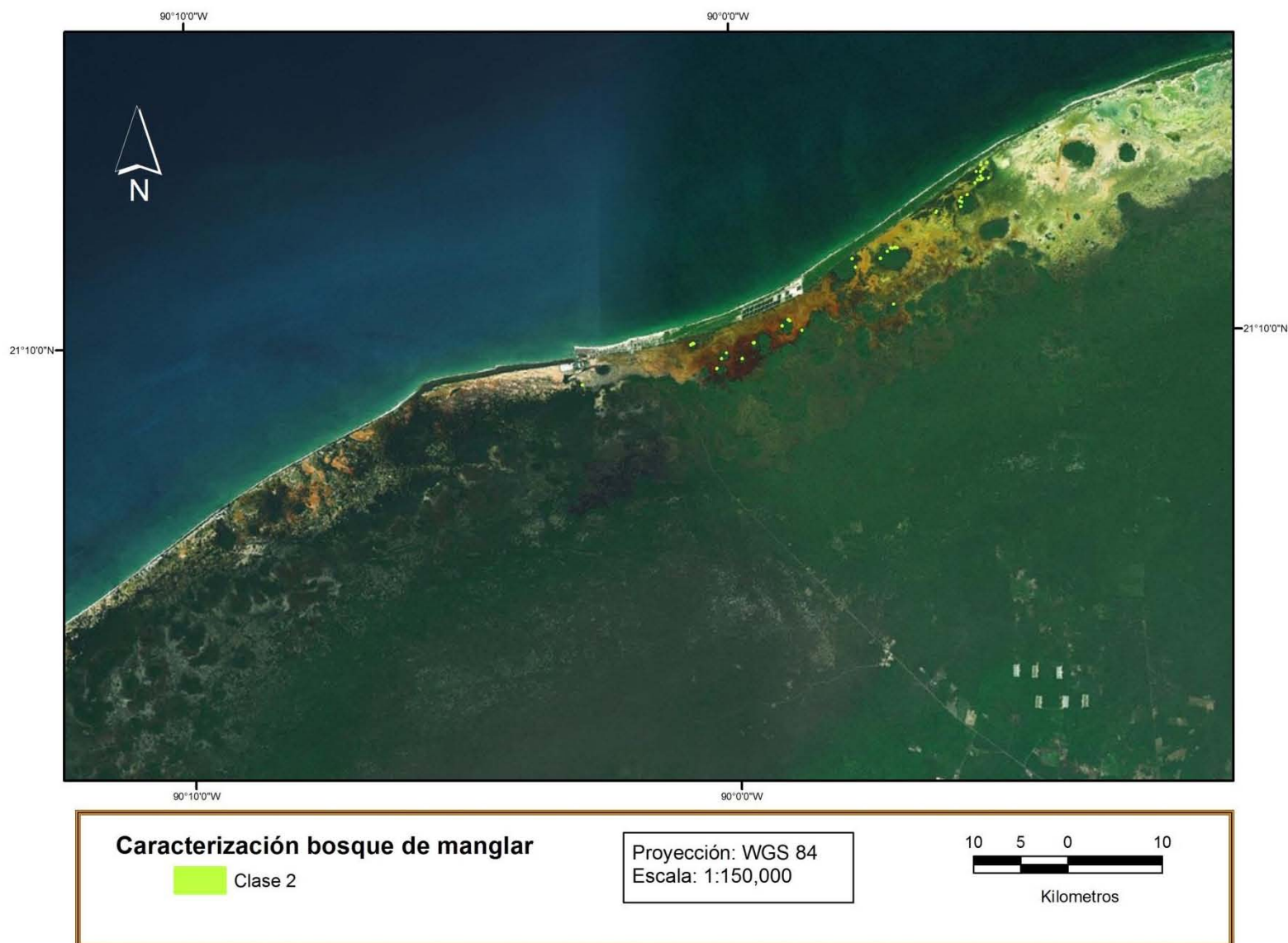


Figura 13. Distribución espacial de la cobertura de la clase 2 en la región Norte de Yucatán. Parches de >10 m de altura, con porcentaje >75 de *Laguncularia racemosa*.

La clase 3, está caracterizada por ser parches de altura media, con porcentaje alto de *L. racemosa* y presencia de *R. mangle*. Así mismo también presenta un patrón de distribución relativamente alejado de la costa (Figura 14).

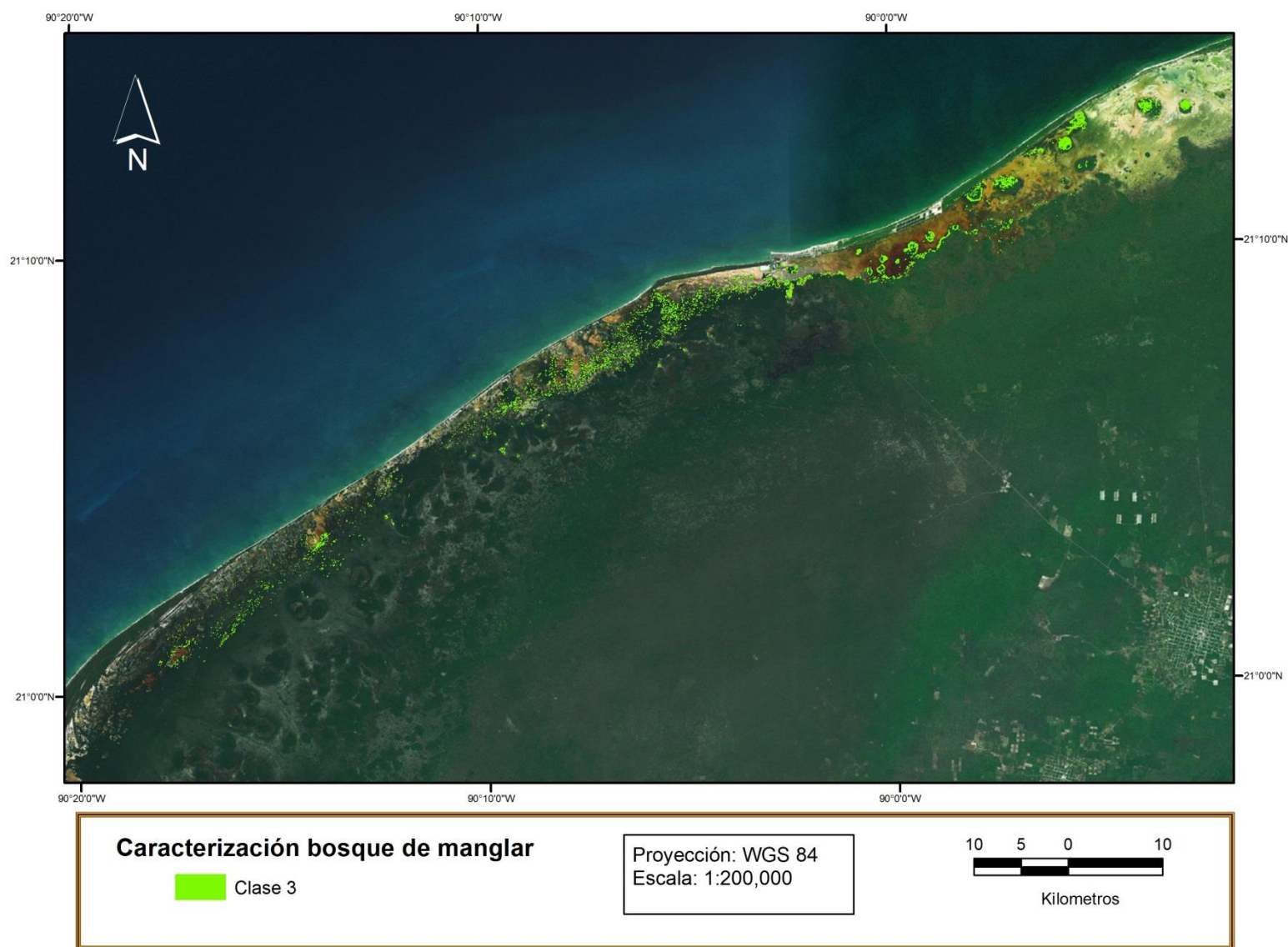


Figura 14. Distribución espacial de la cobertura de la clase 3 en la región Norte de Yucatán. Parches de $> 5 \leq 10$ m de altura, con porcentaje $> 50 \leq 75$ de *Laguncularia racemosa* y porcentaje >1 de *Rhizophora mangle*.

La clase 4, está caracterizada por ser parches de altura media dominados en su totalidad por *A. germinans*. Presenta una alta cobertura a lo largo del área estudiada (Figura 15).

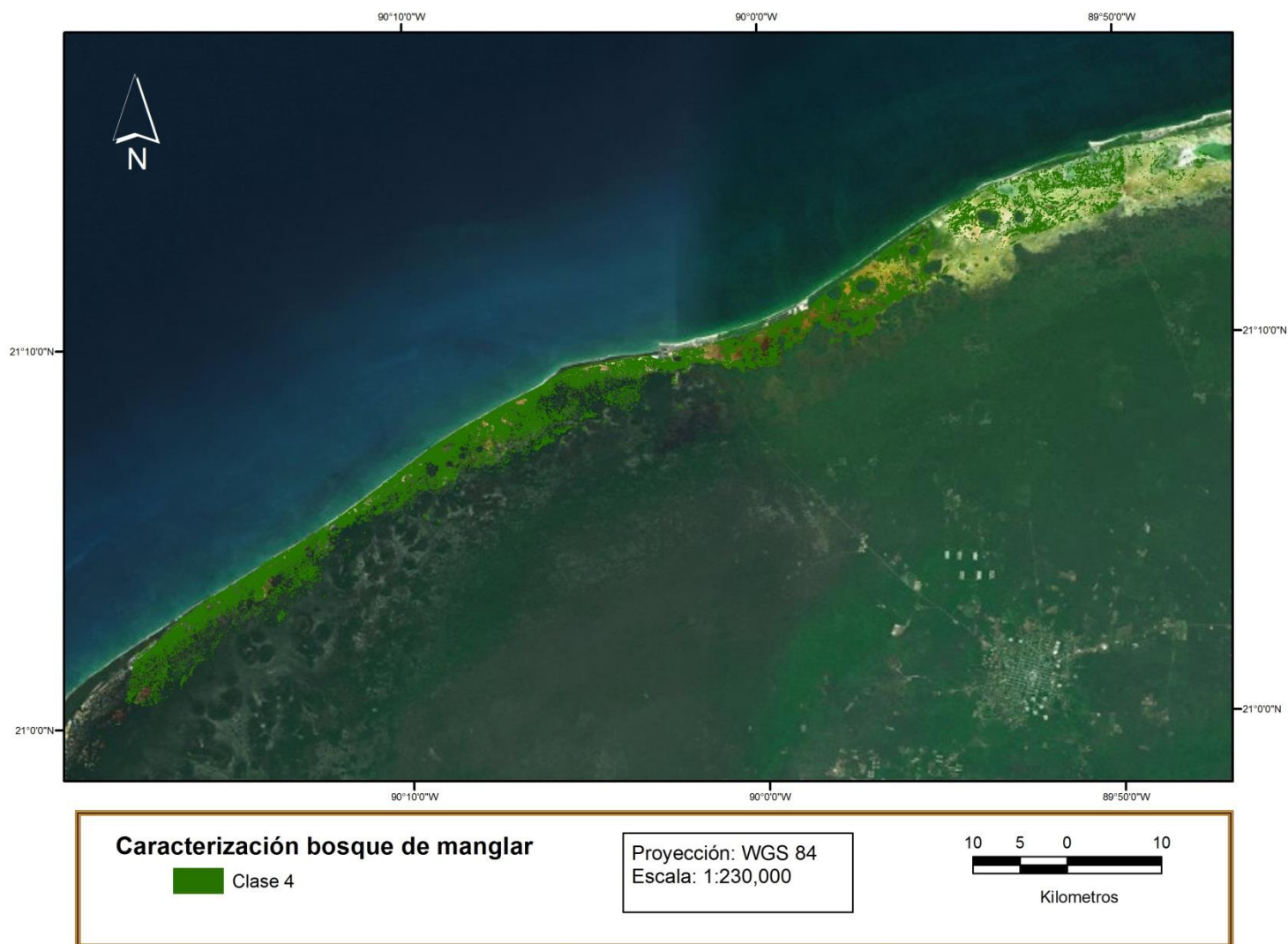


Figura 15. Distribución espacial de la cobertura de la clase 4 en la región Norte de Yucatán. Parches de $> 5 \leq 10$ m de altura, con porcentaje >75 de *Avicennia germinans*.

La clase 5, se encuentra caracterizada por ser parches de baja altura, compuesta por un porcentaje alto de *A. germinans* y porcentaje medio de *L. racemosa*. Esta clase está distribuida principalmente en la región más lejana de la costa y a lo largo de toda el AOI (Figura 16).

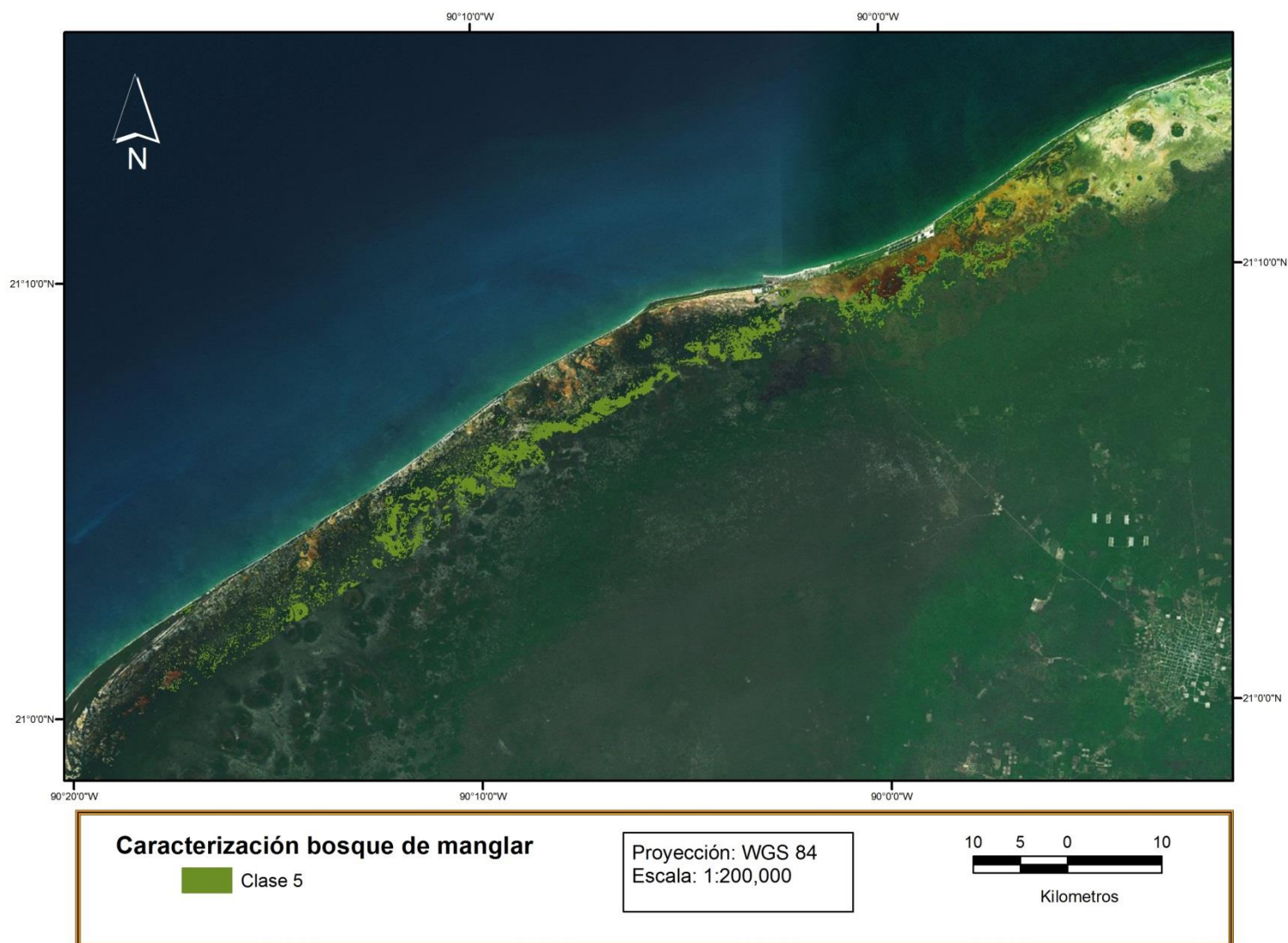


Figura 16. Distribución espacial de la cobertura de la clase 5 en la región Norte de Yucatán. Parches de $> 1 \leq 5$ m de altura, con porcentaje $> 50 \leq 75$ de *Avicennia germinans* y porcentaje $> 25 \leq 50$ de *Laguncularia racemosa*.

La clase 6, caracterizada por ser parches de altura media, compuesta por un porcentaje medio tanto de *L. racemosa* y *R. mangle*, y porcentaje bajo de *A. germinans*. Presenta una distribución a lo largo de toda el área de estudio, con mayor cobertura en la zona centro y centro-oeste (Figura 17).

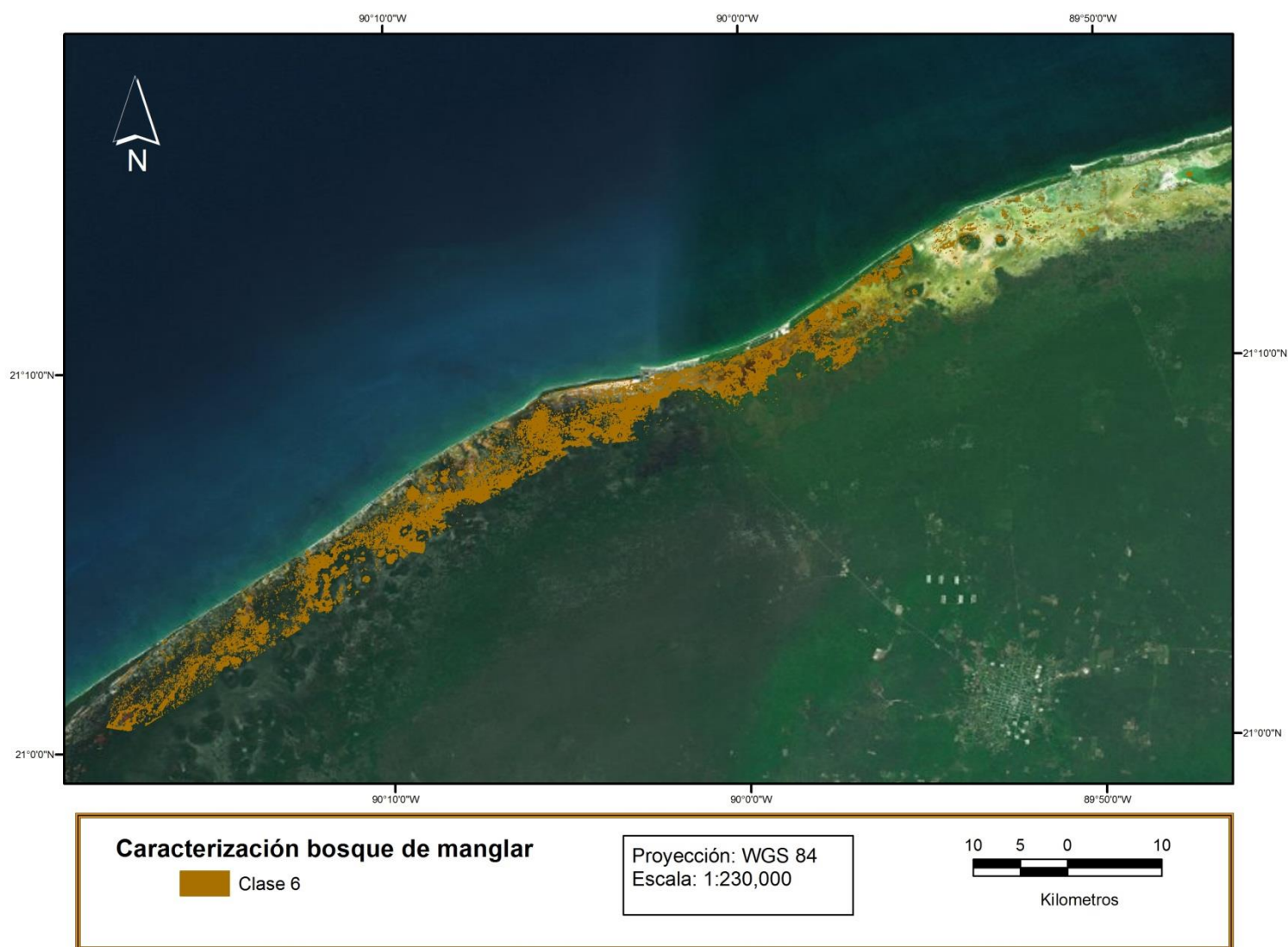


Figura 17. Distribución espacial de la cobertura de la clase 6 en la región Norte de Yucatán. Parches de $> 5 \leq 10$ m de altura, con porcentaje $> 25 \leq 50$ de *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*, y porcentaje $\geq 2 \leq 25$ de *Avicennia germinans*.

La clase 7, caracterizada por ser parches de altura media, compuesta por un porcentaje alto de *R. mangle*, y porcentaje bajo de *A. germinans*. Es la clase más común a lo largo y ancho del área de estudio (Figura 18).

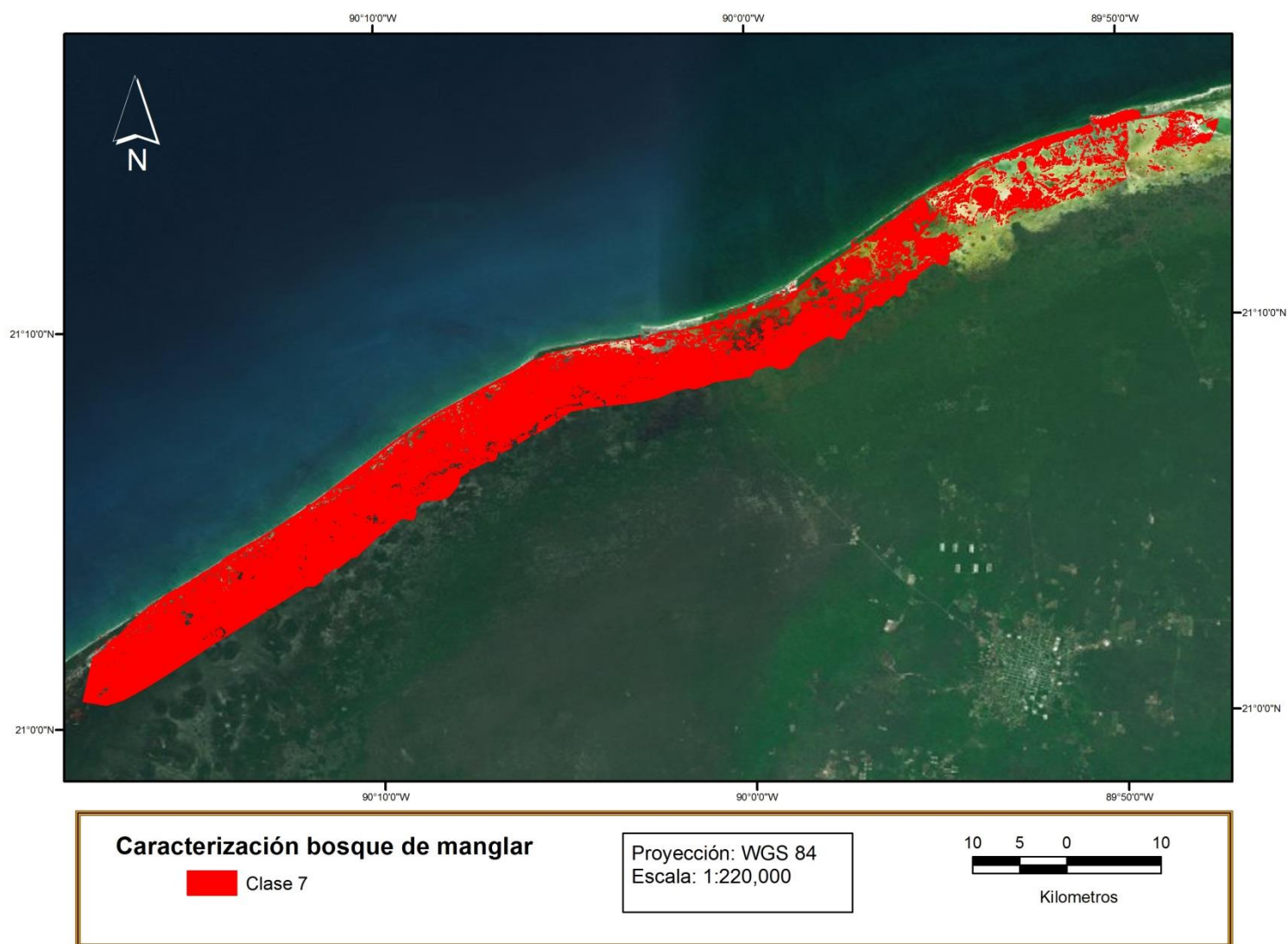


Figura 18. Distribución espacial de la cobertura de la clase 7 en la región Norte de Yucatán. Parches de $> 5 \leq 10$ m de altura, con porcentaje $> 50 \leq 75$ de *Rhizophora mangle* y porcentaje $\geq 2 \leq 25$ de *Avicennia germinans*.

La clase 8, caracterizada por ser parches de gran altura, compuesta con un porcentaje alto de *R. mangle*, y bajo porcentaje tanto para *C. erectus* y *A. germinans*. Presentan un patrón de cobertura alejado de la costa al igual que las clases 1, 3 y 5 (Figura 19) y a lo largo de toda el área de estudio.



Figura 19. Distribución espacial de la cobertura de la clase 7 en la región Norte de Yucatán. Parches de >10 m de altura, con porcentaje $> 50 \leq 75$ de *Rhizophora mangle* y porcentaje $\geq 2 \leq 25$ de *Avicennia germinans* y *Conacarpus erectus*.

La clase 9, caracterizada por ser parches de gran altura, compuestas con un porcentaje alto de *R. mangle*, y bajo porcentaje de *L. racemosa*. Presenta un patrón de cobertura muy localizado a la zona centro y Este del AOI adyacente a la localidad del puerto de Sisal (Figura 20).



Figura 20. Distribución espacial de la cobertura de la clase 9 en la región Norte de Yucatán. Parches de >10 m de altura, con porcentaje $> 50 \leq 75$ de *Rhizophora mangle* y porcentaje $\geq 2 \leq 25$ de *Laguncularia racemosa*.

La clase 10, caracterizada por ser parches de baja altura, compuestas con un porcentaje alto de *R. mangle* y porcentaje medio de *C. erectus*. Presenta un patrón de cobertura poco común al igual que las clases 2 y 9. Localizada en la parte central y oeste del área estudiada (Figura 21).

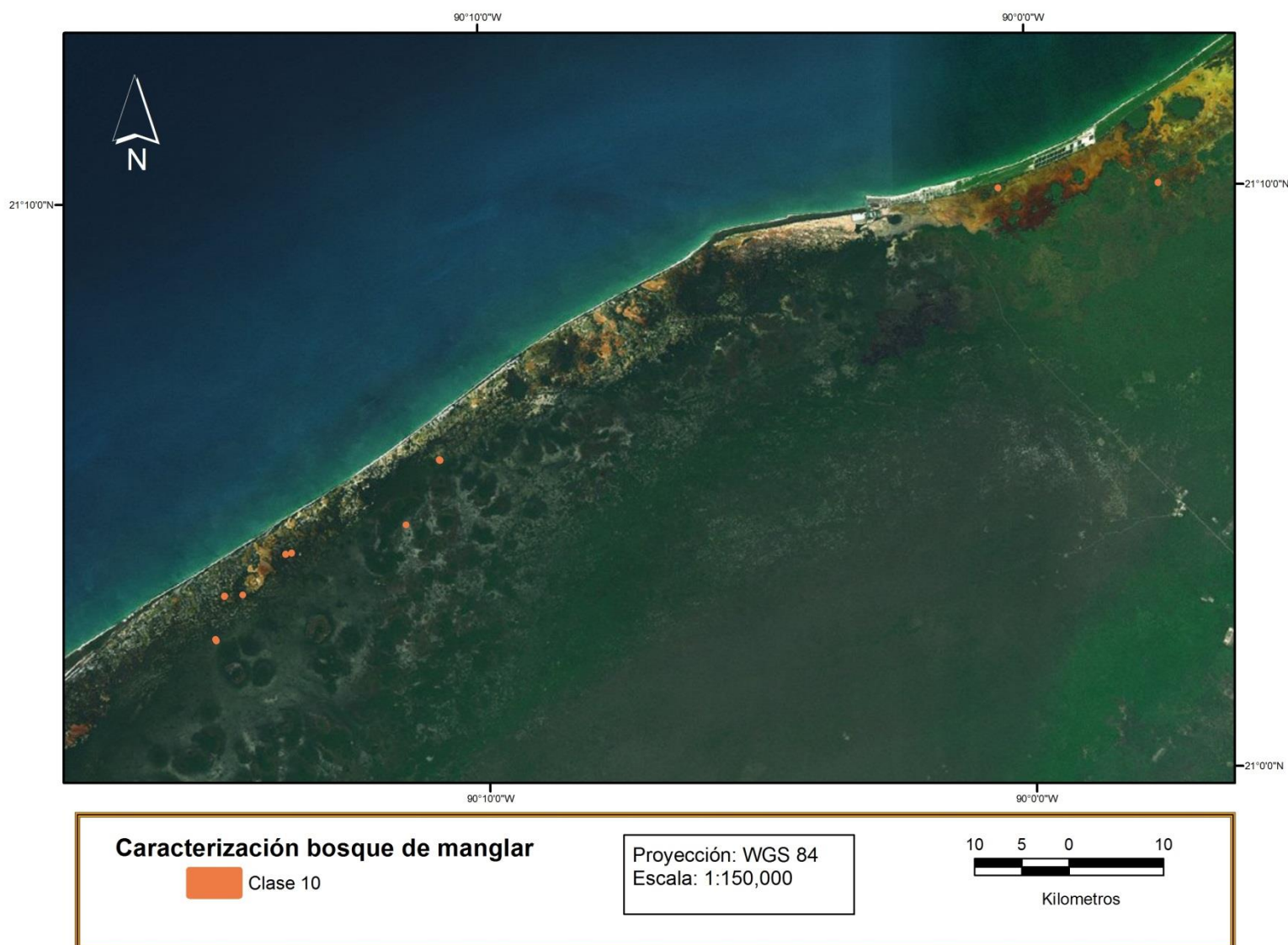


Figura 21. Distribución espacial de la cobertura de la clase 10 en la región Norte de Yucatán. Parches de $> 1 \leq 5$ m de altura, con porcentaje $> 50 \leq 75$ de *Rhizophora mangle* y porcentaje $> 25 \leq 50$ de *Conacarpus erectus*.

De manera general las clases que presentan gran altura son poco comunes y presentan una distribución un poco más alejada de la costa. Contrario a ello las clases que presentan una mayor cobertura a lo largo de toda el área estudiada, están caracterizadas por ser parches de mediana altura.

7.4. Evaluación de la clasificación

La precisión de la clasificación, se evaluó mediante la construcción de una matriz de error (Tabla 5).

Tabla 5. Matriz de error de la clasificación

	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8	Clase 9	Clase 10	Total	Precisión de utilización (%)
Clase 1	<u>88</u>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88	100
Clase 2	0	<u>9</u>	6	0	0	0	0	0	0	0	15	60
Clase 3	0	0	<u>21</u>	0	0	4	1	0	0	0	26	80.8
Clase 4	0	0	1	<u>182</u>	2	9	133	0	0	0	327	55.7
Clase 5	0	0	0	1	<u>42</u>	0	18	0	0	0	61	68.9
Clase 6	0	0	1	8	0	<u>24</u>	6	0	0	0	39	61.5
Clase 7	0	0	2	21	0	13	<u>131</u>	0	0	0	167	78.4
Clase 8	0	0	0	0	0	0	0	<u>15</u>	0	0	15	100
Clase 9	0	0	0	0	0	0	0	0	<u>9</u>	0	9	100
Clase 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<u>8</u>	8	100
Total	88	9	31	212	44	50	289	15	9	8	529	
Precisión de producción (%)	100	100	67.7	85.8	95.5	48	45.3	100	100	100		

Se obtuvieron un total de 529 pixeles analizados, agrupados en las 10 clases identificadas como hábitat de manglar. La precisión general de la clasificación fue de 70% con un valor del estadístico Kappa del 0.61. De manera general se

observa que la precisión de producción y de utilización para las clases es buena. Para el caso de la precisión de producción solo dos clases presentaron valores por debajo del 50%, la clase 6 con un valor de 48% y la clase 7 con un valor de 45.3%. En contraste en cuanto a la precisión de utilización el valor más bajo obtenido fue del 55.7 %, correspondiente a la clase 4.

7.5. Características generales del paisaje

7.5.1. Área

Mediante el SIG se calculó un valor aproximado total de la cobertura de manglar de 12408 ha en la región de estudio, lo cual corresponde ~ 86 % del total del área de interés. Del total de área de manglar, ~ 68 % (8478 ha) ocurre dentro del ANP. Para el caso del área adyacente la cobertura total obtenida fue de aproximadamente 6543 ha que corresponden al 42% de la cobertura total de manglar.

El porcentaje de cobertura total (ha) de los hábitat de manglar caracterizados en la región Norte de Yucatán, se presentan en la figura 22.

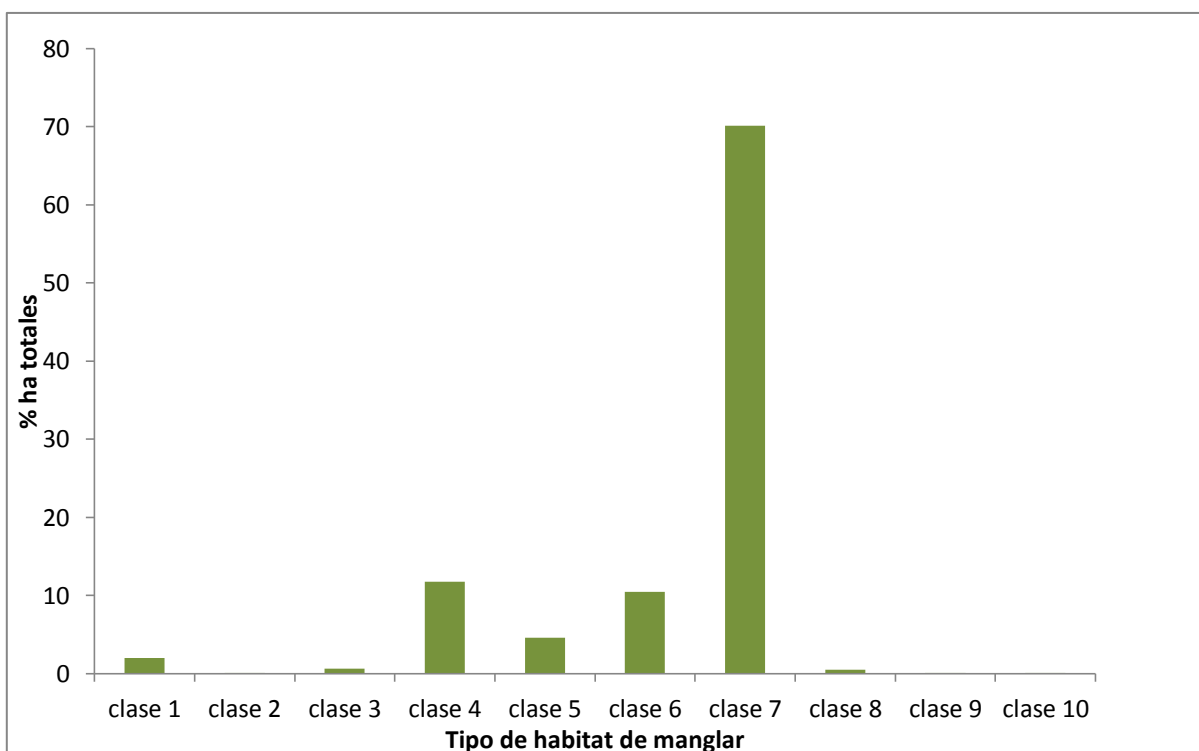


Figura 22. Porcentaje de hectáreas totales cubiertas por los tipos de hábitat de manglar.

Se observa de manera general que la clase 7 (parches de altura media, dominados por *R. mangle*) tiene mayor presencia con un porcentaje de cobertura del 70 %, seguida de la clase 4 con un porcentaje de cobertura del 11%, la clase 6 con un 10% y la clase 5 con un 4 % de cobertura. Por otro lado, las clases 2, 9 y 10 presentan la menor cobertura con valores de 0.001, 0.001, 0.0003 % respectivamente.

7.5.2. Fragmentación

La figura 23 presenta el número de polígonos (fragmentación) observados para cada clase de manglar, en la zona de estudio.

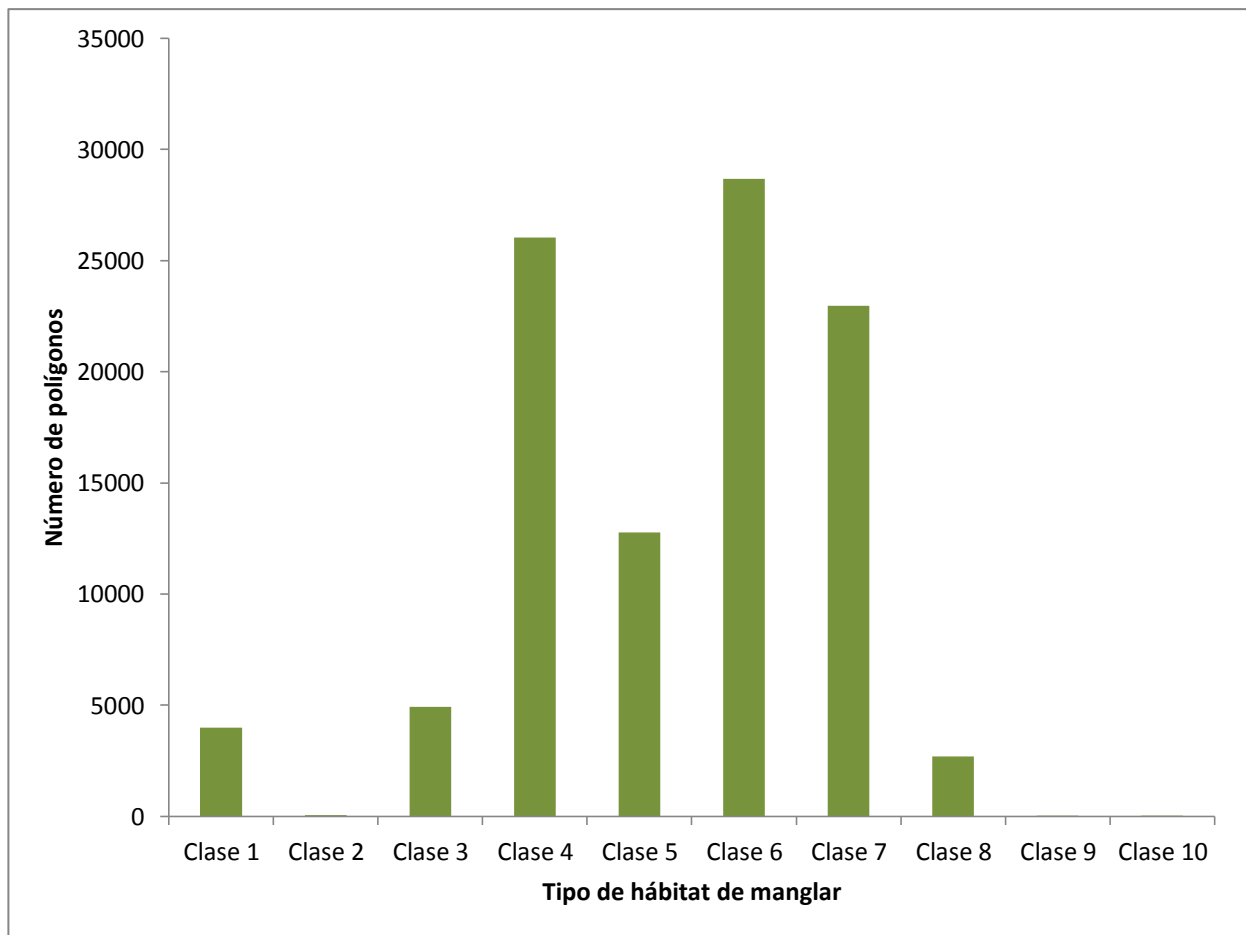


Figura 23. Número de parches totales de los tipos de hábitat de manglar.

Se observa de manera general que las clases 4, 5, 6 y 7 presentan un mayor número de polígonos (fragmentación). La clase 6 (parches de altura media, con una composición mixta entre las especies de *L. racemosa*, *R. mangle* y *A. germinans*) es la que presentó el mayor número de polígonos con un valor 28,667. En lo que corresponde para las clases 1, 3 y 8 estas presentaron valores menores de fragmentación. De nuevo y debido a su baja cobertura (ver Figura 22), las clases 2, 9 y 10 presentan la menor fragmentación con 51, 31 y 11 polígonos, respectivamente.

7.6. Comparación de características del paisaje entre el ANP y área adyacente

7.6.1. Fragmentación

La figura 24 presenta la relación entre el área de los polígonos y su frecuencia para cada intervalo de tamaños dentro del ANP y área adyacente. Las líneas de tendencia corresponden a una regresión potencial ($p < 0.05$) para cada una de las zonas estudiadas. En base a la prueba de pendientes realizada no hay una diferencia significativa ($t = 1.22$, $p > 0.005$). Por lo tanto no existe evidencia estadística que indique que el patrón de fragmentación entre estas dos áreas sea distinto.

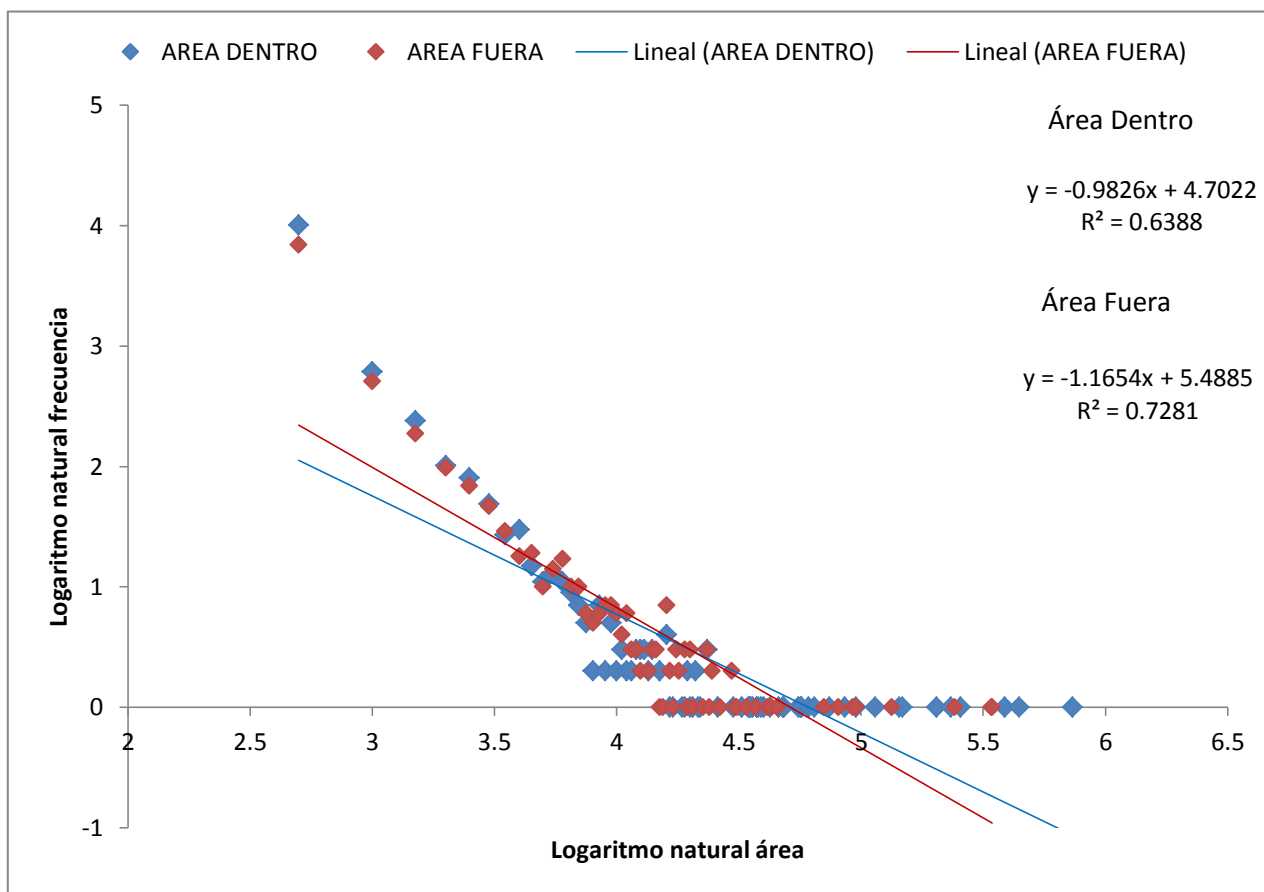


Figura 24. Relación entre el área de los polígonos y su frecuencia. La línea en azul representa el patrón de fragmentación presente dentro del ANP y la línea en color rojo representa el patrón de fragmentación presente en el área fuera del ANP. Presentan una tendencia potencial ajustada mediante logaritmos.

En general ambas zonas tienen más parches con áreas de polígonos relativamente pequeñas, un menor número de tamaño medio y muy pocos con alta extensión superficial.

La figura 25 muestra la fragmentación (porcentaje de número de polígonos para cada clase de las dos sub-zonas de comparación).

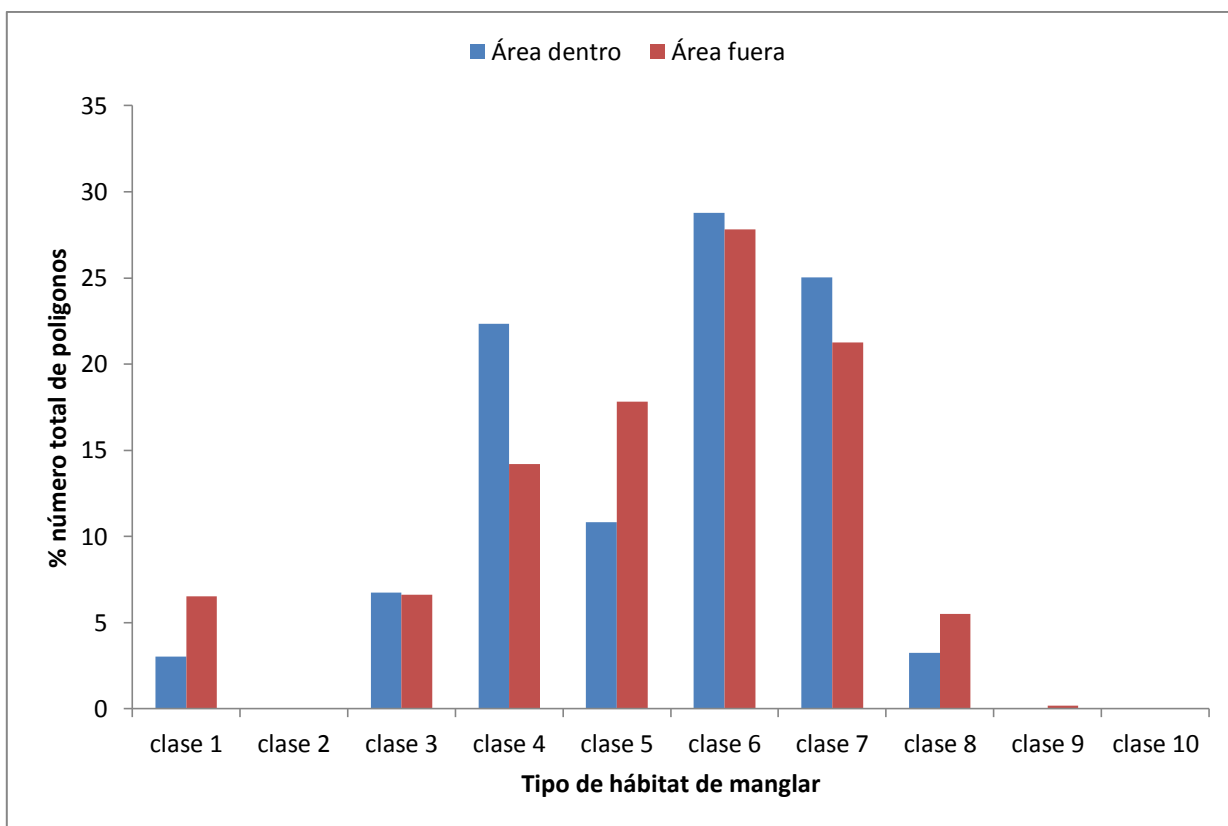


Figura 25. Porcentaje de número total de polígonos (fragmentación) por clase en las dos sub-zonas de estudio.

Al comparar la fragmentación dentro y fuera del ANP se observó que el número de polígonos por clase depende si se encuentra o no dentro del ANP ($\chi^2 = 530.187$, $p < 0.0001$). La fragmentación entre algunos tipos de hábitat de manglar para ambas zonas se ve claramente diferenciada. De manera general para el caso del área dentro del ANP son cuatro las clases que presentan una mayor fragmentación en comparación con el área fuera, siendo estas las clases 3, 4, 6 y 7. Para las clases 1, 5 y 8 la fragmentación es menor. En el caso de la clase 9, ésta presentó un valor más bajo dentro del ANP pero solo con una observación en cada una de las zonas contrastadas. Para el caso de las clases 2 y 10, se

consideraron distintas ya que éstas solamente se encontraron fuera del ANP.

Estas clases también van a ser distintas en cuanto área y compactación.

7.6.2. Área

El porcentaje del área total de los polígonos encontrados en cada clase se muestra en la figura 26.

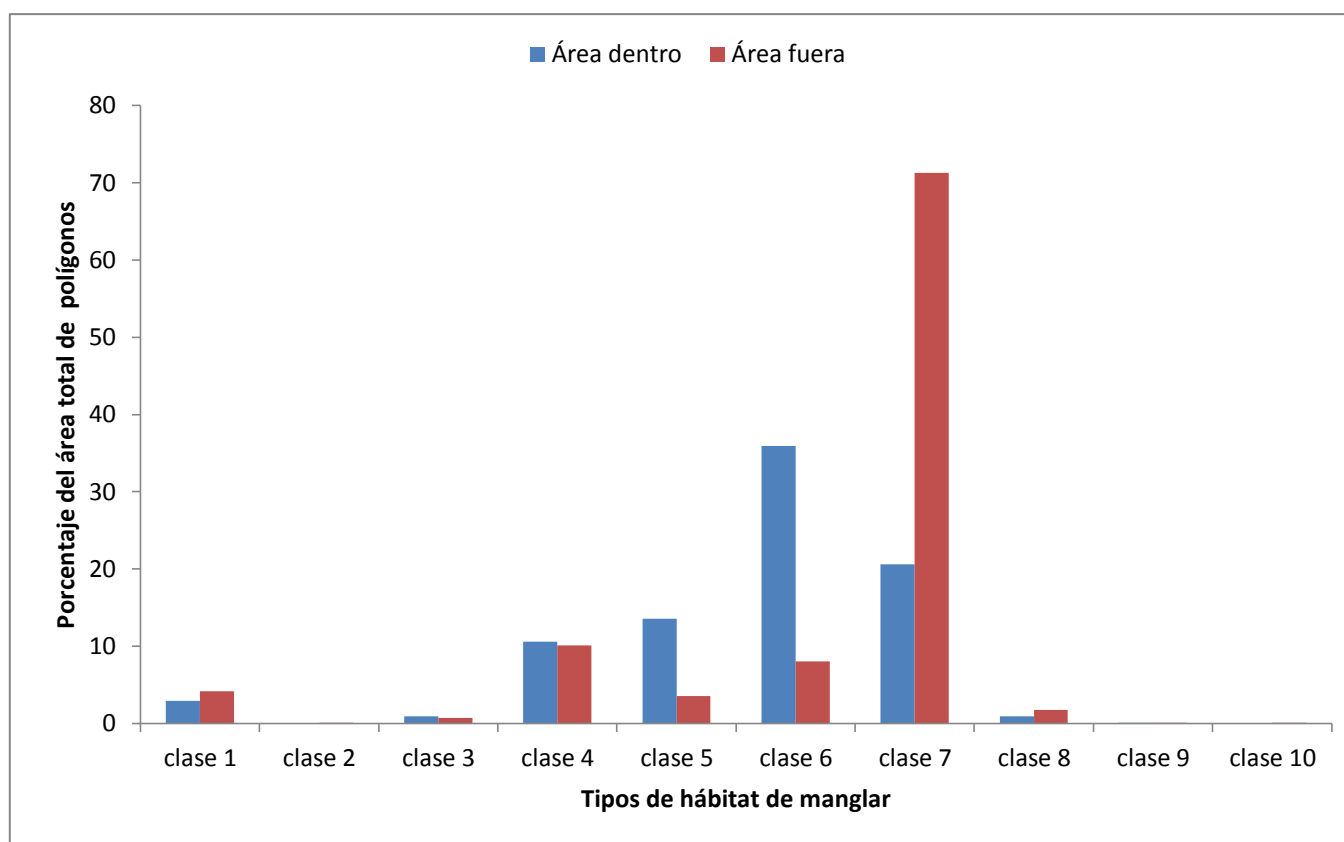


Figura 26. Porcentaje del área total de los polígonos en cada clase, en las dos sub-zonas de estudio.

Al comparar el área entre cada una de las mismas clases tanto para la zona que se encuentra dentro y la zona que se encuentra fuera del ANP, se observó que solamente las clases 1, 5, 6 y 7 presentaron una diferencia significativa ($p < 0.05$) (Figura 27). Las clases 4 y 7 presentan una mayor área fuera del ANP mientras que en las clases 6 y 7 su cobertura es mayor dentro del área natural protegida (Figura 26).

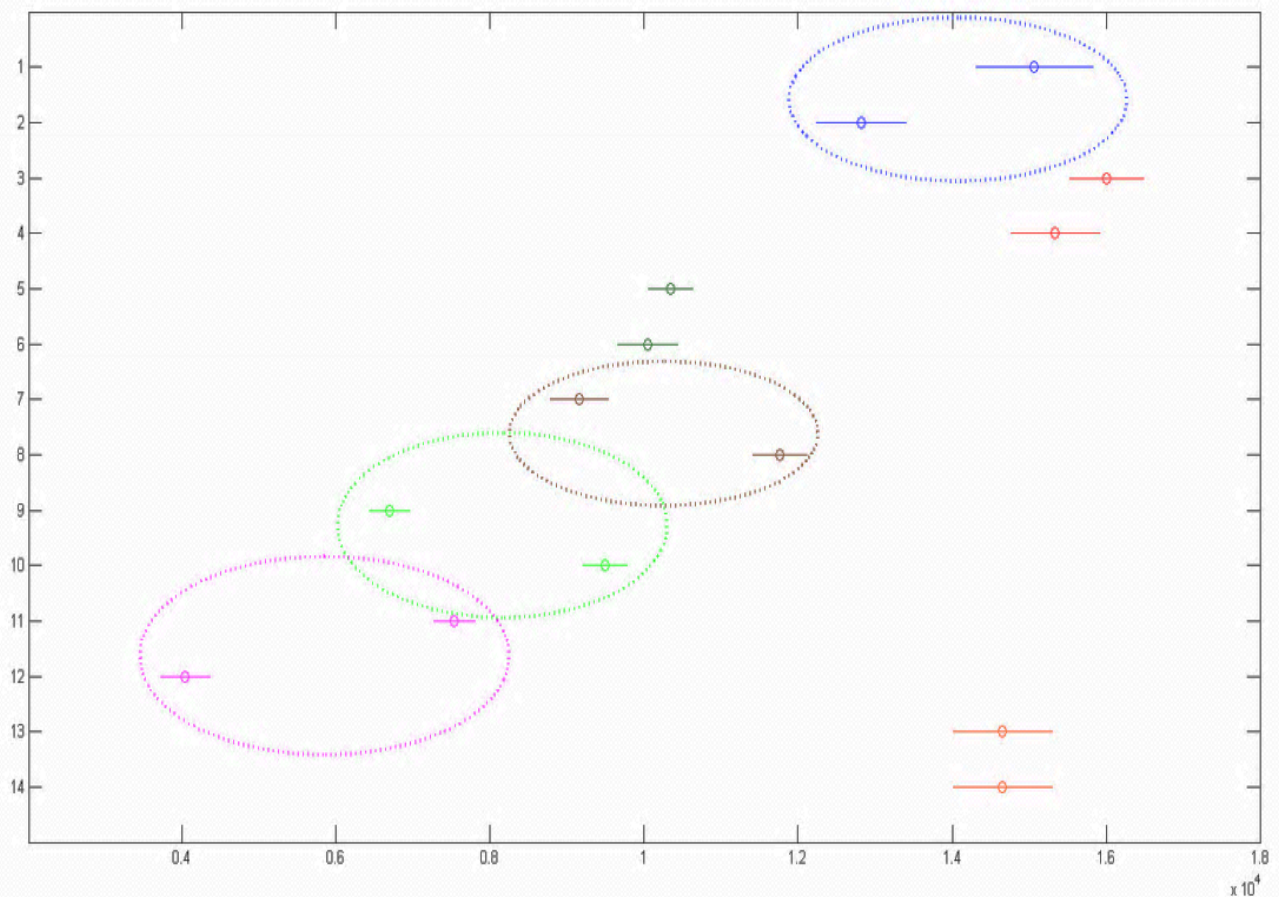


Figura 27. Representación gráfica de la prueba de Tukey. Las clases 1 (azul), 5 (café), 6 (verde), 7 (morado), estadísticamente presentan una diferencia significativa $p < 0.05$. La función multicompare en el software Matlab (v. 2008), muestra un gráfico de cada grupo representado por un símbolo. En el cual dos medias son significativamente diferentes si sus intervalos que los rodean no se cruzan entre sí.

7.6.3. Compactación

La figura 28(a) presenta el valor de la mediana y el cuartil superior e inferior de la compactación de los parches por clase dentro y fuera del ANP. La clase 7 fue la única que presentó una mayor compactación fuera del ANP ($p < 0.05$) (Figura 28(b))

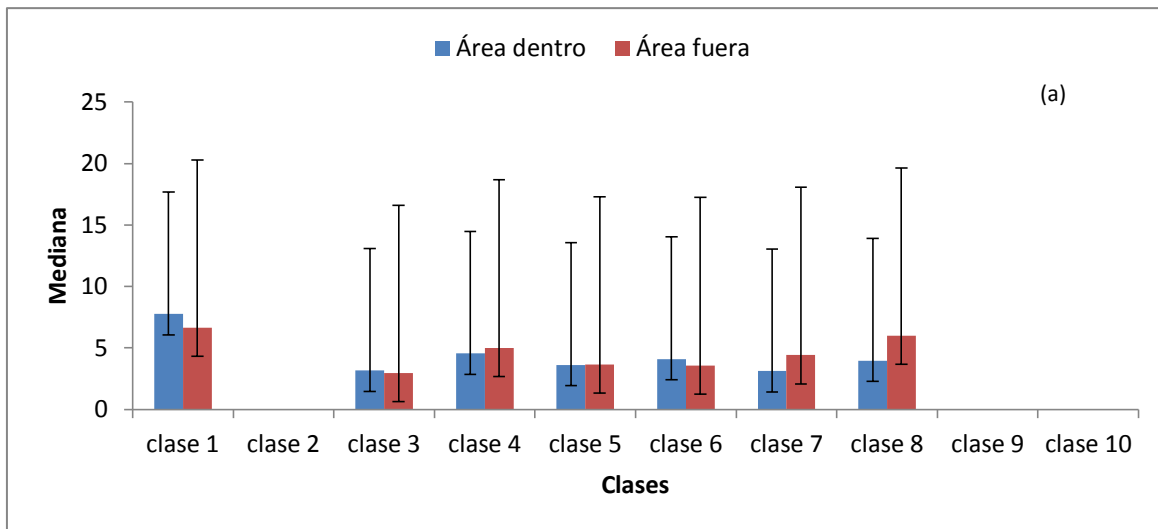
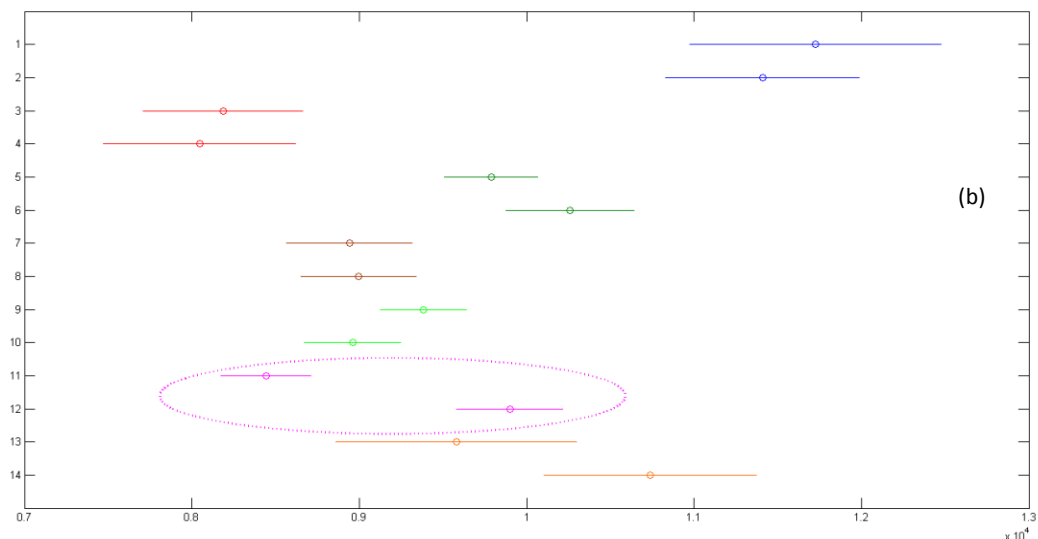


Figura 28. (a) Mediana de la compactación por tipo de hábitat en las áreas contrastadas. Las líneas negras representan el cuartil superior e inferior para cada tipo de hábitat. (b) Representación gráfica de la prueba de Tukey, la clase 7 (morado) presenta una diferencia significativa ($p < 0.05$).



8. DISCUSIÓN

8.1. Mapa temático cobertura de manglar

Los estudios estructurales y caracterización del paisaje de manglar frecuentemente suelen ser difíciles de comparar con otros estudios, por razones de divergencia en los métodos empleados y áreas evaluadas, además de las condiciones altamente variables de un manglar a otro, incluso en el mismo sistema. A pesar de ello, la caracterización y mapeo del paisaje de manglar en la costa Norte del Estado de Yucatán se considera adecuada al obtener mapas temáticos con una precisión general del 70% y un valor en el coeficiente de kappa del 0.61 (Congalton y Green, 2009). Esto indica que el proceso de clasificación mediante el algoritmo de máxima verosimilitud fue eficiente para distinguir los patrones de cobertura del terreno.

Uno de los problemas presentados para la caracterización y clasificación del bosque de manglar a partir de imágenes satelitales ha sido la respuesta espectral de los objetos. La similitud espectral expresada por los diferentes elementos del paisaje, como es el caso de las clases 4 y 6, y 8 y 12 que se confundían entre sí, y que se observó en el momento de realizar la clasificación, ocasionó que algunos píxeles no expresaran datos confiables. Esto puede estar relacionado a que en estas clases están presentes las mismas especies pero con altura y proporción distintas, por lo cual tienen características espectrales muy similares.

En toda la zona de estudio se observaron las cuatro especies de manglar. La especie más común en el área de estudio fue *Avicennia germinans* con un valor del 40 % del total de árboles registrados. Este dato coincide con lo reportado por Rodríguez (2000), quien menciona que *A. germinans* es la especie más dominante para la zona de Celestún y Ría Lagartos con valores del 63.5 % y 44. 46 % respectivamente. En contraste *Conacarpus erectus* es la especie de mangle menos común.

En cuanto al patrón de distribución de los hábitat de manglar resultante del mapeo temático, se observó que las clases 7 (parches de altura media, con porcentaje alto de *R. mangle* y porcentaje bajo de *A. germinans*), 6 (parches de altura media con porcentaje medio tanto de *L. racemosa* y *R. mangle*, y porcentaje bajo de *A. germinans*) y 4 (parches de altura media, dominados por *A. germinans*) son las más dominantes al presentarse a lo largo de toda la zona de estudio. De éstas, la clase 7 es la que presenta mayor distribución. Las clases 2, 9 y 10 presentan una distribución muy localizada y sin un patrón claro. Es importante resaltar que estas clases junto con la clase 1, que se distribuye a lo largo del área de estudio y alejada de la costa presentan valores más altos de altura dosel promedio. Estos árboles de gran altura representan organismos de mayor edad en zonas bien desarrolladas, las cuales probablemente sean más resilientes a la perturbación (ej. Huracanes).

Del análisis anterior sobresale la heterogeneidad en la distribución de especies, en las asociaciones y en sus áreas de cobertura; resultado de las condiciones ambientales hidrológicas y climáticas locales del ambiente lagunar. Thom (1967)

ha señalado que en la dinámica de ambientes lagunares como en la península de Yucatán, no es posible una zonación simple en la comunidad de manglar.

8.2. Comparación de las características en el paisaje

Los resultados obtenidos previamente de la caracterización de los tipos de hábitat de manglar presentes en el área de estudio, permitieron describir características del paisaje del hábitat así como explorar el posible papel que juega la Reserva Estatal “El Palmar” como herramienta actual de conservación.

Se logró comparar el área de los polígonos, la fragmentación y la compactación de los hábitats de manglar entre un área sujeta a un esquema de protección con una categoría de manejo de Reserva Estatal y la otra adyacente sin esquema de protección histórico. Es importante señalar que recientemente, el área adyacente definida en este estudio con el área fuera del ANP ha sido actualmente considerada dentro del polígono de la Reserva Estatal “Ciénegas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán”, decreta en el año 2010. Sin embargo, considerando su reciente creación y la falta de un plan de manejo, las observaciones en el paisaje para esta área aún no reflejan características como resultado de las estrategias de manejo.

Se determinó que el patrón de fragmentación en función de las frecuencias de las áreas de los polígonos para ambas zonas sigue un modelo potencial, lo cual coincide con observaciones hechas para otros ecosistemas costeros en otras regiones (Langmead y Sheppard, 2004; Rioja y Sheppard, 2008, y Purkis. *et al*, 2005). De igual manera, ambas zonas no presentaron diferencias en el patrón de

fragmentación, por lo que los tipos de hábitat de manglar de manera general tienen más parches con áreas relativamente pequeñas, un menor número de tamaño y muy pocos con alta extensión superficial. Sin embargo, al comparar la fragmentación entre clases, se encontraron diferencias. Así mismo, la cobertura y compactación de las clases 6 y 1, respectivamente presentaron características distintas. Es importante destacar que solamente la clase 7 (parches de altura media, con porcentaje alto de *R. mangle* y porcentaje bajo de *A. germinans*) presentó diferencias significativas en todas las características evaluadas. Esta clase tiene una mayor cobertura y compactación y menor fragmentación fuera del ANP.

Las diferencias observadas no indican un efecto claro de las estrategias de manejo utilizadas en el ANP. Quizá esto esté relacionado a que las estrategias de manejo utilizadas en la Reserva Estatal “El Palmar” estén mayormente enfocadas al control de las actividades de caza de aves. Así mismo, es probable que estas diferencias estén estrechamente ligadas a los factores bióticos e hidrológicos presentes en el área. De acuerdo a Mitsch y Gosselink, (1993) la heterogeneidad espacial está generalmente bien organizada en los ecosistemas de manglar, donde las especies están adaptadas a las condiciones particulares del sitio fundamentalmente con respecto a los gradientes hidrológicos, de salinidad, topográficos y edáficos. De esta manera, la zonación interna del ecosistema de manglar, consistiría en un alto nivel de adaptación de las diferencias de micro hábitat prevalecientes (Batllori y Febles, 2007).

De acuerdo a Forman (1995), la forma de los parches (polígonos) se refiere a la figura de un área bidimensional, determinada por la variación de sus márgenes o bordes. La forma de los polígonos es importante para la ecología del paisaje, especialmente porque afecta directamente los movimientos y flujos entre ecosistemas adyacentes. Así mismo, se considera que aquellos parches con mayores valores de compactación tenderán a ser menos susceptibles a la perturbación (Bogaert. *et al*, 2000) y son más efectivos para proteger los recursos interiores contra los efectos de borde (Echeverry y Harper, 2007). Para este caso en particular la clase 1 (caracterizada por ser parches de gran altura con porcentaje alto de *C. erectus* y porcentaje medio de *L. racemosa*) presenta los mayores valores de compactación en las áreas contrastadas, por lo que este hábitat de manglar probablemente sea menos susceptible a alguna perturbación.

Existen varios autores que han realizado investigaciones relacionadas al análisis de la fragmentación del paisaje, en función del tamaño y forma de los parches (Francois y Correa, 2000; Pincheira y Peña, 2009; Palacio, 2006) y que resaltan la importancia del uso de indicadores de fragmentación de los ecosistemas que ofrecen una visión de la composición y configuración de los ecosistemas a través de medidas de área, forma o borde de los polígonos. Estos factores determinarán la dinámica de los procesos ecológicos al interior de los ecosistemas y se convierten en una herramienta de análisis a tener en cuenta en la toma de decisiones políticas para el manejo de los recursos naturales.

La distribución de los datos (no normal) no permitió utilizar pruebas estadísticas paramétricas y dada la cantidad de observaciones utilizadas para los análisis

(~19,000) los resultados obtenidos de la prueba no paramétrica de Tukey deben de tomarse con cautela. Por ejemplo, en el análisis de la compactación, la clase 8 parece ser estadísticamente distinta entre las áreas comparadas, sin embargo la prueba estadística no detectó diferencias significativas. Esto se debe a las limitaciones intrínsecas de la estadística no paramétrica dadas por el alto número de datos y la utilización de rangos.

En México, existen cifras discordantes sobre la extensión actual y las tasas de deforestación de los manglares, lo cual hace necesario la realización de evaluaciones que arrojen información sobre la condición actual y las tendencias de cambio de los bosques de manglar y otros humedales, que sustente los planes de manejo y conservación de estos ambientes y de los bienes ecológicos y económicos que proveen. En este sentido, los datos de percepción remota satelital al registrar de manera sinóptica y repetitiva las coberturas de la superficie terrestre en escalas locales y regionales constituyen una fuente de información de gran utilidad para el inventario y monitoreo de los ambientes costeros.

CONCLUSIONES

La importancia en la elaboración del presente trabajo radica en hacer notoria la necesidad de realizar estudios para la caracterización del paisaje en ambientes costeros, que ayuden a complementar las medidas de manejo, aprovechamiento, planeación y administración.

La región costera norte, del Estado de Yucatán, es un área que comparte características geográficas similares entre sus diferentes componentes territoriales, que la hacen ser parcialmente homogénea.

Adicionalmente se hizo una caracterización del estado actual del paisaje de la región costera representativa del área, al ser realizada por medio del uso de las técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica.

Se logró caracterizar el paisaje de la costa norte del estado de Yucatán, a través del procesamiento de la imagen satelital SPOT 5, mediante interpretaciones visuales de composiciones en falso color, clasificaciones supervisadas, la utilización del índice normalizado de vegetación (NDVI), la digitalización de los polígonos y trabajo de campo previo.

Los resultados obtenidos no indican un claro efecto en las características del paisaje de manglar de las acciones de manejo aplicadas para la Reserva Estatal “El Palmar” (decretada en 1990). Sin embargo, no existen estudios de este tipo en la región, lo cual complica la comparación con otros resultados. Es importante destacar que estudios enfocados a la evaluación del efecto de las áreas naturales

protegidas, en general son indispensables para evaluar sus objetivos de conservación y ajustar las estrategias utilizadas en caso de ser necesario.

Es muy probable que las diferencias encontradas sean resultado de los distintos procesos ecológicos (ej. colonización, sucesión) y diferencias ambientales (ej. aporte de agua dulce) que ocurren en la región.

La constitución y decreto de un sistema eficaz de áreas protegidas es tal vez uno de los retos de mayor peso y alcance en materia política ecológica. Para considerar que tan efectivas son como herramientas de conservación, se deberán de tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Realizar estudios de diagnóstico, evaluación y planificación territorial
2. Crear y renovar proyectos de uso racional y sustentable de los recursos.
Estos proyectos deberán ser abordados de acuerdo a la disponibilidad del recurso existente, tomando en cuenta a las condiciones ecológicas, socioeconómicas y culturales que los rodean.
3. Actualización de los programas de conservación y manejo
En este proceso deberán de estar involucrados de manera directa y como elemento principal a los habitantes locales. Integrándolos en la planeación y administración del área.
4. Las áreas naturales protegidas, deberán de incidir de manera significativa en el crecimiento de la calidad de vida, esto a través del trabajo comunitario y el establecimiento de programas de educación ambiental.

Lo anterior tiene el objetivo de mantener la integridad de los ecosistemas por medio de las zonas de influencia y que éstas permitan crear corredores biológicos y sociales, evitando que se conviertan en islotes que no presenten ninguna conexión biológica.

El enfoque de ecología del paisaje y los procedimientos seguidos en esta investigación permitieron caracterizar de manera integral las condiciones actuales del espacio costero del norte de Yucatán, aun cuando se trata de un área compleja. Esta investigación si bien se enfocó en comparar de manera particular el área, fragmentación y compactación que se presenta actualmente entre dos áreas de bosque de manglar con diferentes esquemas de protección a lo largo de la franja costera, contribuye como un estudio base para la comprensión de los impactos naturales y antropogénicos sobre los ambientes costeros, y aporta elementos para el desarrollo e implementación de planes de manejo, conservación y ordenamiento integrales de las zonas costeras.

REFERENCIAS

- Ley General de Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente (LEGEEPA)*. (20 de Noviembre de 2011). Obtenido de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148.pdf>
- Mapa de las áreas naturales protegidas federales de México*. (19 de Noviembre de 2011). Obtenido de <http://sig.conanp.gob.mx/website/anpsig/viewer.htm>
- Portal de Geoinformación*. (11 de Noviembre de 2011). Obtenido de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- RAMSAR*. (1971) (14 de Noviembre de 2011). Obtenido de http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-home/main/ramsar/1_4000_2__
- The Ramsar Convention on wetlands*. (15 de Noviembre de 2011). Obtenido de http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-home/main/ramsar/1_4000_2__
- Acosta Velázquez, J., Y Rodríguez Zúñiga, M. T. (2007). *Los manglares de México: Estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 1ra etapa*. CONABIO.
- Alarcón Cacheux, A. (2008). *Estrategias de participación de la sociedad civil organizada para la conservación de la biodiversidad a través de las áreas naturales protegidas: Estudios de caso en Peínsula de Yucatán y Oaxaca*. México, D.F.: Tesis de Licenciatura. UNAM.
- Alonzo Parra, D., Bestard Barrera, E., Y Zaldívar Jiménez, A. (2006). *Manual para conservación del pato real mexicano y su hábitat*. Duck Unlimited de México A.C.
- Arbutto Oropeza, O., Y Ezcurra, E. (2008). *Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields*. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America.
- Ball, C. (1980). Patterns of secondary succession in a mangrove forest of Southern Florida. *Oecologia*, 226-235.
- Barbier, B. E., Acreman, M., Y Knowler, D. (1997). *Valoración económica de los humedales. Guía para decisores y planificadores*. Gland, Suiza.: Oficina de la Convención de Ramsar.

- Batllo Sampedro, E., Y Febles Patrón, J. (2007). Límites máximos permisibles para el aprovechamiento del ecosistema de manglar. *Gaceta Ecológica*, 5-23.
- Bogaert, J., Rousseau, R., Van Hecke, P., Y Impens, I. (2000). Alternative area-perimeter ratios for measurement of 2D shape compactness of habitat. *Applied Mathematics and Computation*, 71-85.
- Camphell, J. B. (1996). Introduction to remote sensing. En A. Ventura Leonardo, *Estudio sobre la cobertura y cambios de uso de terreno en la cuenca Lechuguilla-Ohuira-Navachiste, Sinaloa por medio de técnicas de percepción remota y SIG*. México, D.F.: Tesis licenciatura, UNAM.
- Chapman, V. (1975). Mangrove biogeography. En G. Walsh, Y S. Snedaker, *Proceedings of Internacional Symposium on Biology and Managment of Mangroves* (págs. 3-22). University of florida.
- Chapman, V. J. (1977). *Mangrove Vegetation*. Berlin: Cramer-Verlag.
- Chuvieco, In; García Campos, Ricardo Rodrigo. (2006). *Ánàlisis de la cobertura y cambio de uso del terreno en la región costera norte del Estado de Nayarit utilizando técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica*. México, D.F.: Tesis de licenciatura, UNAM.
- Citrón Molero, G., Y Schaeffer Novelli, Y. (1984). Methods for studyng mangrove structure. En S. Snedaker, Y Snedaker J, *Mangrove Ecosystem* (págs. 91-130). UNESCO.
- CONABIO. (2008). *Los manglares de México*. 3ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México
- CONABIO. (2009). *Manglares de México: Extensión y Distribución*. 2ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 99 pp.
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 35-46.
- Congalton, R., Y Green, K. (2009). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices*. USA: CRC Press.
- Costanza, R., Y D' Arge, R. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 253-260.

- Day, J. W., Conner, W. H., Ley Louf, F., Day, R. H., Y Machado , N. A. (1987). The productivity and composición of mangroves forest, Laguna de Términos, México. *Aquatic Botany*, 267-284.
- Díaz Escobar, M. (2008). *El contexto socioeconómico y la efectividad de las áreas naturales protegidas de México para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación*. Distrito Federal: Tesis de Doctorado. UNAM.
- Domínguez Cadena, R. (2009). *Análisis de la micro-topografía en la estructura, la fenología reproductiva y el reclutamiento de las especies de mangles en la costa sur occidental del Golfo de California, México*. La Paz, México: Tesis de Doctorado. UABCS.
- Echeverry, M., & Harper, G. (2007). Fragmentación y deforestación como indicadores del estado de los ecosistemas en el corredor de conservación Choco-Manabí (Colombia-Ecuador). *Recursos Naturales y Ambiente*, 78-88.
- ERDAS. (2010). *ERDAS Field guide*. USA.
- FAO. (2007). *The world's mangroves 1980-2005*. Roma: Food and agriculture organization of the united nations.
- Field, C. (2000). Mangroves. *Seas at the millennium and environmental evaluation*, 17-32.
- Flores Verdugo, F. (1989). Algunos aspectos sobre la ecología, uso e importancia de los ecosistemas de manglar. En J. Vélez, Y F. González Farias, *Temas de oceanografía biológica en México* (págs. 21-56). Universidad Autónoma de Baja California.
- Forman, R. T. (1995). Land mosaics-The ecology of landscpae and regions. En M. Echeverry, Y G. Harper, *Fragmentación y deforestación como indicadores del estado de los ecosistemas en el corredor de conservación Choco-Manabí (Colombia-Ecuador)* (págs. 78-88). Recursos Naturales y Ambiente.
- Francois Mas, J., Y Correa Sandoval, J. (2000). Análisis de la fragmentación del paisaje en el área protegida Los Petenes, Campeche, México. *Investigaciones Geográficas*, 42-59.
- Gaona Pineda, O. (2007). *Consideraciones Ambientales y Prospección para la Restauración de un Ecosistema de Manglar al Sureste de la Reserva de la Biosfera "Los Petenes"*. México, D.F.: Tesis de Maestria. UNAM.
- Gopal, B. (2003). Perspectives on wetland science, application and policy. *Hydrobiologia*. 490: 1-10.

- Green, E., Mumby, P., Edwards, A., Y Clarck, C. (2000). *Remote sensing handbook for tropical coastal managment*. Paris: UNESCO.
- Herrera Silveira, J., Y Ceballos, E. (1998). Manglares: Ecosistemas valiosos. *Biodiversitas*, 2-10.
- Herrera Silveria, J., Y Zaldívar Jiménez, A. (2010). Marco conceptual de la rehabilitación de bosques de manglar en la Península de Yucatán. CINVESTAV-JICA.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). (2004). *Análisis comparativo de los sistemas clasificatorios de humedales*. Mazatlán.
- Kovacs, J., Zhang, C., Y Flores Verdugo, F. (2008). Mapping the condition of mangroves of the mexican pacific using C-band ENVISAT ASAR and Landsat optical data. *Ciencias Marinas*, 407-418.
- Langmead, O., Y Sheppard, C. (2004). Coral reef community dynamics and disturbance: a simulation model. *Ecological Modelling*, 271-290.
- López Jara, G. (2002). *Estructura de edades de la población juvenil de la tortuga carey Eretmochelys imbricata en la laguna de terminos, Campeche*. D.F, México: UAM-I.
- López Portillo, J., Y Ezcurra, E. (2002). Los manglares de México: Una revisión. *Maderas y Bosques*, 27-51.
- MacGarial, K., Y Marks, B. (1995). *Fragstats: Spatial pattern analysis program for Quantifying landscape structure*. Portland: Departament of Agriculture, Forest Division.
- Macnae, W. (1968). A General Account of the Fauna and Flora of Mangrove Swamps and Forest in the Indo-West-Pacific Region. *Marine Biology*, 73-270.
- Mariacchi, Green, Y Purevdorj In Ventura, A. (2006). Estudio sobre la cobertura y cambios de uso de terreno en la cuenca Lechuguilla-Ohuira-Navachiste, Sinaloa por medio de técnicas de percepción remota y SIG. *TESIS LICENCIATURA*. México, D.F: UNAM.
- Mitsch, W., Y Gosselink, J. (1993). Wetlands. En E. Batllori Sampedro, Y J. L. Febles Patrón, *Límites máximos permisibles para el aprovechamiento del ecosistema de manglar* (págs. 5-23). Distrito Federal: SEMARNAT.

- Mitsh, W. J., Y Gosselink, J. G. (2000). Wetlands. En *Chapter 11. Mangroves Swamps* (págs. 335-373).
- Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forest: implications for conservation. En B. Ruiz Guerra, *Efecto del tamaño del fragmento sobre la interacción planta-herbivoro-enemigos naturales en la selva de los Tuxtlas, Ver.* (págs. 58-62). México, D.F.: Tesis Doctorado. UNAM.
- Pacheco Ruiz, I., Zertuche González, J. A., Merling, A. E., Riosmena Rodríguez, R., Y Orduña Rojas, J. (2006). El límite norte de *Rhizophora mangle* en el Golfo de California, México. *Ciencia y Mar*, 19-22.
- Palacio Aponte, Á. G. (2006). *Ecología del paisaje costero en laguna de Términos, Campeche. Diagnostico ambiental para el manejo*. México, D.F.: Tesis Doctoral. UNAM.
- Pincheira Ulbrich, J., Y Peña Cortés, F. (2009). Patch size and shape and their relationship with tree and shrub species richness. *International Journal of Experimental Botany*, 121-128.
- Prado, E., De Miguel, E., Fernández-Renau, A., Chuvieco, E., Palacios-Orueta, A., Y Gonzáles-Alonso, A. (2008). Evaluación y corrección de errores de correregistro en imágenes hiperespectrales AHS en estudios multitemporales. En L. Hernández, Y J. M. Parreño, *Tecnologías de la información geográfica para el desarrollo territorial* (págs. 135-146). Las Palmas de Gran Canaria: Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC.
- Purkis, S. J., Riegl, B. M., Y Andréfouët, S. (2005). Remote sensing of geomorphology and faices patterns on a modern carbonate ramp (Arabian Gulf, Dubai, U.A.E.). *Journal of Sedimentary Research*, 861-876.
- Rabinowitz, D. (1978). Early growth of mangrove seedling in Panama, and an hypothesis concerning the relationship of dispersal and zonation. *Journal of Biogeography*, 113-133.
- Ramírez, G., Y López, J. (1998). Mangrove vegetation assessment in the Santiago river mouth, Mexico by means of supervised classification using Landsat TM imagery. *Forest Ecology and Managment*, 217-229.
- Reyes Chargoy, M., Y Tovilla Hernández, C. (2002). Restauración de áreas alteradas de manglar con *Rhizophora mangle* en las costas de Chiapas. *Maderas y Bosques*, 103-114.

- Rico Gray, V. (1993). Origen y rutas de dispersión de los manglares: una revisión con énfasis en las especies de America. *Acta Botanica de México*, 1-13.
- Rioja Nieto, R., Y Sheppard, C. (2008). Effects of management strategies on the landscape ecology of a Marine Protected Area. *Ocean & Coastal Management*, 397-404.
- Rodriguez Zuñiga, M. T. (2000). *Manglares de Celestún y Ria Lagartos: Estructura fisonomica y evaluación de la deforestacion mediante percepcion remota. Yucatán, México*. Tlalnepantla: Tesis profesional. UNAM.
- Ruiz Luna, A., Y Acosta Velázquez, J. (2008). On the reliability of the data of the extent of mangroves. A case study in Mexico. *Ocean and Coastal Managment*, 342-351.
- Ruiz Luna, A., Y Berlanga Robles, C. A. (2006). Assesment of landscape changes and their effects on the San Blas estuarine system, Nayarit (méxico),through Landsat imagery analysis. *Cinencias Marinas*, 523-538.
- Schaeffer Novelli , Y., Citron Molero, G., Rothleder, A. R., Y Camargo, T. M. (1990). Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries*, 204-218.
- Schowengerdt, R. A. (2007). *Remote Sensing Models and Methods for Image Processing*. USA: Elsevier, Inc.
- Scott, D. A. (1989). *Desing of Wetland Data Sheet for Databe on Ramsar Sites*. Gland, Suiza: Informe mimeografiado para la Oficina de la Convención de Ramsar.
- SECOL. (2006). *Programa de Manejo de la Reserva Estatal El Palmar*. Mérida.
- Spalding, M., Blasco, F., Y Field, C. (1997). *World Mangrove Atlas*. Okinawa, Japón: International society for mangroves ecosystems.
- Tomlinson, P. (1986). The botany of mangroves. *Cambridge University Press*, 413.
- Twilley, R., Y Day, J. (1999). The productivity and nutrient cycling of mangrove ecosystem. En Arancibia-Yañez, Y A. Lara, *Ecosistemas de manglar en América tropical*. Insituto de Ecología.
- Ugalde García, I. E. (2007). *Manejo integral del geosistema de manglar dentro de la reserva de la Biosfera de Ría Lagartos, Yucatán*. México, D.F: Tesis de maestria. UNAM.

- Vega Cendejas, M. E. (1998). *Trama trófica de la comunidad neotónica asociada al ecosistema de manglar en el litoral norte de Yucatán*. Tesis de Doctorado. UNAM.
- Ventura Leonardo, A. (2006). *Estudio sobre la cobertura y cambios de uso de terreno en la cuenca Lechuquilla-Ohuira-Navachiste. Sinaloa por medio de técnicas de percepción remota y SIG*. México, D.F.: Tesis de Licenciatura, UNAM.
- Villalobos, I. (2000). Áreas naturales protegidas: Instrumento estratégico para la conservación de la biodiversidad. *Gaceta Ecológica. SEMARNAT*, 24-34.
- Yañez Arancibia, A., Twilley, R., Y Lara Domínguez, A. L. (1998). Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. *Maderas y Bosques*, 3-19.
- Zaldívar Jiménez, A., Herrera Silveira, J., Coronado Molina, C., Y Alonzo Parra, D. (2004). Estructura y productividad de los manglares de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún. Yucatán. *Maderas y Bosques*, 23-35.
- Zar, J. (2010). *Biostatistical analysis*. New Jersey: PEARSON.