

Informe final* del Proyecto GQ004

Los manglares de México: estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 2a y 3era etapas

Responsable:	Dr. Rainer Ressler
Institución:	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
Dirección:	Liga Periférico-Insurgentes Sur # 4903, Parques del Pedregal, México, D.F. CP 14010
Correo electrónico:	irressl@xolo.conabio.gob.mx
Teléfono, fax	5004 4986
Fecha de inicio:	Marzo 14, 2008
Fecha de término:	Marzo 6, 2013
Principales resultados:	Base de datos, cartografía, fotografías, informe final.
Forma de citar** el informe final y otros resultados:	Rodríguez-Zúñiga M.T., Troche-Souza C., Vázquez-Lule A. D., Márquez-Mendoza J. D., Vázquez- Balderas B., Valderrama-Landeros L., Velázquez-Salazar S., Uribe-Martínez A., Acosta-Velázquez J., Díaz-Gallegos J., Cruz-López M. I. y Ressler R. 2012. Los manglares de México: estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 2ª y 3ª etapas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. GQ004. México, D.F.

Resumen:

La presente propuesta es la continuación del proyecto de manglares que se está llevando a cabo en la CONABIO y que consta de tres etapas. El objetivo general del trabajo es desarrollar un programa de monitoreo sistematizado de los manglares de México a largo plazo a través de indicadores ambientales, para determinar las condiciones de la vegetación y los principales agentes de transformación de los manglares del país, a través de técnicas de percepción remota y trabajo in situ, que sirva para identificar oportunamente sitios de conservación, manejo o rehabilitación de este hábitat. Al final de la primera etapa, se conocerá la extensión y distribución para 2005-2006 de los manglares de toda la República Mexicana a partir de imágenes SPOT, se tendrá conformada la Red de Monitoreo de los Manglares Mexicanos y se tendrá el diseño de un Sistema de Información Geográfica que apoye el proceso de monitoreo e integración de la información. Durante la segunda y tercera etapas del proyecto, se trabajará en un sistema de manglar de cada una de las cinco regiones definidas en la primera etapa, el objetivo de trabajar sólo con cinco sistemas es profundizar en el análisis de sus características biofísicas a través de técnicas de percepción remota y buscar una estandarización en los métodos para que sean factibles de aplicar eficientemente en otros sistemas de manglar. En estas dos etapas se evaluará el cambio de uso de suelo en un periodo aproximado de 30 años (dependiendo de los datos disponibles), se identificarán los principales agentes de transformación que inciden en este hábitat, se realizará una exploración de parámetros biofísicos que es posible obtener mediante técnicas de percepción remota, como son el Índice de Área Foliar (LAI) y el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI), para detectar cambios en la condición de la vegetación a través del tiempo e identificar procesos de fragmentación en los manglares. Con la integración y análisis de los resultados de las primeras dos etapas del proyecto, será posible en la tercera etapa identificar sitios con mayor factibilidad para conservar, manejar o rehabilitar ecológicamente, así mismo se podrán definir cuáles son los mejores parámetros e indicadores para realizar un monitoreo de los manglares de México a largo plazo, se tendrá en funcionamiento un Sistema de Información Geográfica para los manglares mexicanos y se comenzará con la ejecución del programa de monitoreo, el cual se buscará sea permanente. Con los datos generados en las tres etapas del proyecto, tanto la CONABIO como otras instituciones interesadas podrán contar con información más específica para generar modelos ambientales para los manglares mexicanos. A partir de los resultados de este proyecto se tendrá una herramienta de fácil acceso e interpretación para definir las acciones necesarias para la conservación, uso y rehabilitación ecológica de este tipo de hábitats. La constante retroalimentación tecnológica interinstitucional en cada una de las etapas del proyecto, redundará en un mayor conocimiento de los procesos y potencialidades de las herramientas empleadas y en la interpretación de los resultados, todo lo cual puede ser aprovechado por un amplio sector académico tanto nacional como internacional.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

**“Los manglares de México: estado actual y establecimiento
de un programa de monitoreo a largo plazo:**

2ª y 3era etapas”

Proyecto GQ004

INFORME FINAL

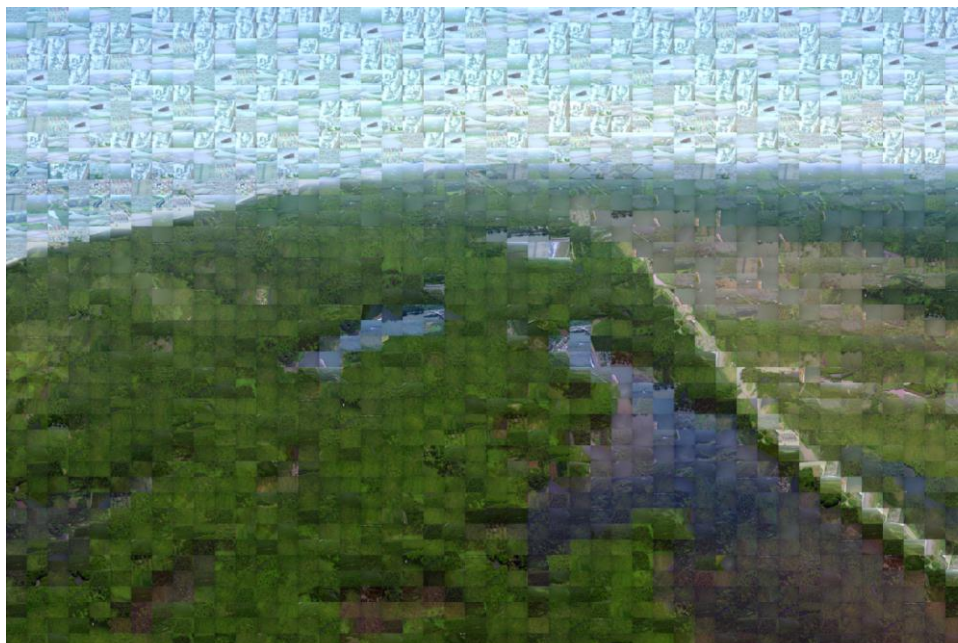


Foto mosaico de los Manglares de México, Campeche.

DIRECCIÓN DE GEOMATICA

SUBDIRECCIÓN DE PERCEPCIÓN REMOTA

CONABIO

Datos del responsable del proyecto

Dr. Rainer Ressler
Director de Geomática, CONABIO
Tel. trabajo: 5004 4986, FAX: 5528 9131
Correo-e: Rainer.Ressler@conabio.gob.mx

Director General de Bioinformática

Ing. Raúl Jiménez Rosenberg

Subdirectora de Percepción Remota

M. en Geog. María Isabel Cruz López

Grupo de Percepción Remota del Proyecto Manglares

M. en C. María Teresa Rodríguez Zúñiga (Responsable)
M. en C. Carlos Humberto Troche Souza (Responsable)
M. en G. Alma Delia Vázquez Lule (Trabajando en el proyecto)
Geog. Juan Daniel Márquez Mendoza (Trabajando en el proyecto)
Biól. Berenice Vázquez Balderas (Trabajando en el proyecto)
Dr. Luis Humberto Valderrama Landeros (Trabajando en el proyecto)
Pas. de Biól. Samuel Velázquez Salazar (Trabajando en el proyecto)
M. en C. Abigail Uribe Martínez (Trabajando en CONABIO)
M. en C. Joanna Acosta-Velázquez. El Colegio de la Frontera Sur- Tapachula-Chiapas
C. a Dr. José Reyes Díaz Gallegos. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
M. en C. Humberto Antonio González González, Universidad Autónoma de Guerrero

Dirección de Geomática de la CONABIO

Pas. Geog. Margarita Ascención Merino
Dr. Rene Colditz
Pas. de Geog. Armando Gandarilla Ramírez
M. en G. Laura Merit González Ramírez
Dr. Michael Schmidt

Percepción remota y sistemas de información geográfica que han laborado en CONABIO

Geóg. Alfonso Daniel López, Posgrado de Urbanismo, UNAM
Geóg. Araceli Pérez Bello, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Participación del INEGI

Colaboración en la interpretación de fotografías aéreas e imágenes Landsat para la elaboración del Mapa de uso del suelo y vegetación de la década de los setentas-ochentas.

Ing. Martín Niño Alcocer (Coordinación), Jefe del Departamento de Uso del Suelo
Ing. Adolfo Saucedo Acuña (Apoyo para el estado de Sonora)
Ing. Victor Manuel Vega Sánchez (Apoyo para el estado de Sinaloa)
Biól. Carlos F. Rojas Flores (Apoyo para el estado de Nayarit)
Jaime Loredó Loredó (Apoyo para el estado de Nayarit)
Ing. Guadalupe Quezada Chico (Apoyo para los estados de Colima y Jalisco)
Ing. René Díaz Ríos (Apoyo para el estado de Guerrero)
Ing. Santos Malaquías González (Apoyo para el estado de Guerrero)
Geog. Justina Ruíz Torres (Apoyo para el estado de Oaxaca)
Biól. Mauricio Enoch Ocaña Nájuez (Apoyo para el estado de Chiapas)
Ing. Arnulfo Coronado Saldierna (Apoyo para el estado de Tamaulipas)

Ing. Rafael Martínez Morales (Apoyo para el estado de Veracruz)

Servicios sociales

Pas. de Geog. Adelina Ávila (Facultad de Filosofía y Letras, UNAM)

Pas. de Geog. Rocío Martínez (Facultad de Filosofía y Letras, UNAM)

Asesores del proyecto

Dr. Jorge López Portillo, Instituto de Ecología, A.C. (INECOL), Xalapa, Veracruz.

Dr. Arturo Ruiz-Luna, CIAD, A.C., Unidad Mazatlán, Sinaloa.

Institución responsable

Dirección de Geomática, Subdirección de Percepción Remota

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)

Av. Liga Periférico Insurgentes Sur 4903, Col. Parques del Pedregal

Delegación Tlalpan, México, D.F., C.P. 14010

Representante legal

Lic. Antonio Robles Licea, Coordinador Administrativo, CONABIO

Prioridades dentro del Programa de Restauración y Compensación Ambiental

2. Áreas Naturales Protegidas, Regiones Prioritarias para la Conservación (terrestres, marinas e hidrológicas) y Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS).
3. Especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, en el Programa de Recuperación de Especies Prioritarias (PREP) y las mexicanas en la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).
4. Reforzamiento de actividades de protección y conservación de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).
5. Áreas estatales de protección y Áreas críticas y prioritarias de atención para la PROFEPA.

Líneas temáticas dentro del Programa de Restauración y Compensación Ambiental

- A. Restauración: actividades encaminadas a favorecer la recuperación y restitución de ecosistemas, hábitat o especies que han sido degradados, dañados o destruidos de manera directa o indirecta.
 - A3. Estudios que aporten sustento a las acciones de restauración (inventarios biológicos, estudios ecológicos, socioeconómicos, etc.).
- B. Conservación: actividades encaminadas a la conservación directa a través del manejo y protección de los ecosistemas y su biodiversidad incluyendo su uso sostenible.
 - B6. Estudios que aporten sustento a las acciones de conservación (inventarios biológicos, estudios ecológicos y socioeconómicos.).
 - B7. Monitoreo a corto y largo plazo de poblaciones y áreas naturales.

Duración del proyecto

51 meses

Área de estudio

Manglares de la República Mexicana con un área de influencia específica.

Monto total del financiamiento solicitado

2a y 3era etapa: \$1, 394,680.00

CONTENIDO

CONTENIDO	IV
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABLAS	XVIII
LISTA DE ANEXOS	XXII
CARTOGRAFÍA DIGITAL	XXIII
ABREVIATURAS	XXIV
RESUMEN	XXVI
OBJETIVOS	1
ANTECEDENTES	2
1. MARCO TEÓRICO	3
MANGLARES: DESCRIPCIÓN, IMPORTANCIA Y PROBLEMÁTICA	3
LOS MANGLARES DE MÉXICO	4
USO DE TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA EN EVALUACIONES DE MANGLAR	5
PATRONES E ÍNDICES ESPACIALES APLICADOS A MANGLARES	6
PARÁMETROS BIOFÍSICOS (NDVI, EVI Y LAI) Y ESTIMACIÓN DE BIOMASA VEGETAL EN MANGLARES	7
MONITOREO DE ECOSISTEMAS	8
2. MATERIALES Y MÉTODOS	10
ÁREA DE ESTUDIO	10
SEGUNDA ETAPA	10
Fuentes de información	10
Estimación de cambios e identificación de los principales agentes de transformación de los manglares de México	11
<i>Elaboración del mapa de la Fecha2 de los manglares de México y coberturas circundantes</i>	12
<i>Elaboración del mapa de la Fecha 1 (1970-1980) de los manglares de México y coberturas circundantes a través del método interdependiente</i>	15
<i>Detección de los procesos de cambios en los manglares de México</i>	17
Patrones e índices espaciales	22
<i>Parches</i>	22
<i>Relaciones de Borde</i>	23
<i>Fragmentación</i>	244
<i>Conectividad</i>	25
	iv

Exploración de los parámetros biofísicos y estimación de biomasa vegetal en manglares de Laguna Pom Atasta, Campeche y Laguna Agua Brava, Nayarit	27
<i>Áreas piloto de estudio</i>	27
<i>Laguna Pom Atasta, Campeche</i>	27
<i>Laguna Agua Brava, Nayarit</i>	27
<i>Exploración de NDVI, EVI y LAI a partir de series de tiempo de productos MODIS</i>	30
<i>Pre-procesamiento de productos MODIS</i>	30
<i>Generación de series de tiempo en el programa TiSeG</i>	31
<i>Estimación de la estructura de la comunidad vegetal de manglar y cálculo de biomasa in situ con relaciones alométricas en Laguna Pom Atasta, Campeche y Agua Brava, Nayarit</i>	34
<i>Diseño de muestreo</i>	35
<i>Estimación de la estructura vegetal de la comunidad de manglar</i>	36
<i>Estimación de biomasa a partir de relaciones alométricas</i>	37
<i>Exploración de la estimación de biomasa vegetal con imágenes de radar</i>	38
<i>Exploración de la estimación de la biomasa vegetal a partir del Índice de Área de Foliar de MODIS</i>	40
TERCERA ETAPA	42
Identificación de sitios para conservación, manejo o rehabilitación.	42
Sistema de Monitoreo de Manglares de México	43
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
SEGUNDA ETAPA	45
Estimación de cambios e identificación de los principales agentes de transformación	45
<i>Nivel Nacional</i>	45
<i>Validación mapa 2005</i>	45
<i>Tamaulipas</i>	48
<i>Validación mapa 2005</i>	48
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	49
<i>Patrones e índices espaciales</i>	54
<i>Veracruz</i>	57
<i>Validación mapa 2005</i>	57
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	58
<i>Patrones e índices espaciales</i>	65
<i>Tabasco</i>	68
<i>Validación mapa 2005</i>	68
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	69
<i>Patrones e índices espaciales</i>	74

Campeche	77
<i>Validación mapa 2005</i>	77
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	78
<i>Patrones e índices espaciales</i>	84
Yucatán	87
<i>Validación mapa 2005</i>	87
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	88
<i>Patrones e índices espaciales</i>	93
Quintana Roo	96
<i>Validación mapa 2005</i>	96
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	97
<i>Patrones e índices espaciales</i>	104
Baja California	107
<i>Validación mapa 2005</i>	107
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	107
<i>Patrones e índices espaciales</i>	111
Baja California Sur	113
<i>Validación mapa 2005</i>	113
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	114
<i>Patrones e índices espaciales</i>	118
Sonora	121
<i>Validación mapa 2005</i>	121
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	122
<i>Patrones e índices espaciales</i>	128
Sinaloa	131
<i>Validación mapa 2005</i>	131
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	132
<i>Patrones e índices espaciales</i>	138
Nayarit	141
<i>Validación mapa 2005</i>	141
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	142
<i>Patrones e índices espaciales</i>	149
Jalisco	152
<i>Validación mapa 2005</i>	152
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	153
<i>Patrones e índices espaciales</i>	158

Colima	161
<i>Validación mapa 2005</i>	161
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	162
<i>Patrones e índices espaciales</i>	168
Michoacán	171
<i>Validación mapa 2005</i>	171
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	172
<i>Patrones e índices espaciales</i>	177
Guerrero	180
<i>Validación mapa 2005</i>	180
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	181
<i>Patrones e índices espaciales</i>	187
Oaxaca	190
<i>Validación mapa 2005</i>	190
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	191
<i>Patrones e índices espaciales</i>	197
Chiapas	200
<i>Validación mapa 2005</i>	200
<i>Detección de cambios y tasas de transformación</i>	201
<i>Patrones e índices espaciales</i>	208
Exploración de parámetros biofísicos y estimación de biomasa vegetal en los manglares de Laguna Pom Atasta, Campeche y Laguna Agua Brava, Nayarit	211
<i>Exploración de parámetros biofísicos NDVI, EVI y LAI a partir de series de tiempo de productos MODIS</i>	211
<i>Manejo de calidad en la generación de series de tiempo y criterios para la interpolación de compuestos</i>	211
<i>Series de tiempo para el sitio Laguna Pom Atasta, Campeche</i>	214
<i>Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada</i>	214
<i>Series de tiempo para el Índice de Vegetación Mejorado</i>	216
<i>Índice de Área Foliar</i>	218
<i>Series de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit.</i>	220
<i>Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada</i>	220
<i>Índice de Vegetación Mejorado</i>	221
<i>Índice de Área Foliar</i>	223
<i>Estimación de la estructura de la comunidad vegetal de manglar y biomasa in situ con relaciones alométricas en Laguna Pom Atasta, Campeche y Laguna Agua Brava, Nayarit</i>	225

<i>Diseño de muestreo en Laguna Pom Atasta, Campeche</i>	225
<i>Diseño de muestreo en Agua Brava, Nayarit</i>	225
<i>Estimación de la estructura vegetal de la comunidad de manglar y biomasa in situ en Laguna Pom Atasta, Campeche</i>	228
<i>Estructura de la comunidad vegetal de manglar y biomasa in situ en Laguna Agua Brava, Nayarit.</i>	231
<i>Exploración de la estimación de biomasa vegetal con imágenes de radar</i>	235
<i>Laguna Pom Atasta, Campeche</i>	235
<i>Laguna Agua Brava, Nayarit</i>	239
<i>Exploración de la estimación de biomasa vegetal a partir del Índice de Área de Foliar de MODIS</i>	244
<i>Laguna Pom Atasta, Campeche.</i>	244
<i>Laguna Agua Brava Nayarit.</i>	244
TERCERA ETAPA	246
Identificación de sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica	246
Sistema de Monitoreo de Manglares de México (SisMMM)	246
<i>Objetivos</i>	247
<i>Objetivo general</i>	247
<i>Objetivos específicos</i>	247
<i>Meta del Sistema de Monitoreo de Manglares de México</i>	247
<i>Escala de trabajo</i>	247
<i>Áreas de estudio</i>	247
<i>Colección de datos</i>	248
<i>Manejo de datos</i>	248
<i>Mantenimiento</i>	248
<i>Parámetros e indicadores seleccionados</i>	248
<i>A nivel Nacional</i>	2488
<i>A nivel Estatal y de Sitios Prioritarios</i>	249
<i>A nivel de Sitios Piloto</i>	249
<i>A nivel de Parcelas de Monitoreo</i>	250
<i>Línea Base del Sistema de Monitoreo de Manglares de México</i>	259
4. OTROS ALCANCES DEL PROYECTO	262
INFORMACIÓN EN EL GEOPORTAL DE LA CONABIO	262
TALLER INFORMATIVO SOBRE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO	262
CONCLUSIONES	2633

ESTIMACIÓN DE CAMBIOS E IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES AGENTES DE TRANSFORMACIÓN DE LOS MANGLARES DE MÉXICO.	2633
PATRONES E ÍNDICES ESPACIALES APLICADOS A MANGLARES	2644
EXPLORACIÓN DE LOS PARÁMETROS BIOFÍSICOS Y ESTIMACIÓN DE BIOMASA VEGETAL EN MANGLARES	2655
SISTEMA DE MONITOREO	2677
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	2688

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Distribución del buffer de 5 kilómetros alrededor de los manglares de México escala 1:50,000 (CONABIO 2009).	10
Figura 2.2. Desfase espacial entre fuentes de información.	15
Figura 2.3. Revisión horizontal y vertical de fotografía aérea.	16
Figura 2.4. Procedimiento técnico para la elaboración de cartografía con el enfoque metodológico interdependiente.	17
Figura 2.5. Fecha de fotografías aéreas e imágenes Landsat utilizadas para la elaboración del mapa: Fecha 1 (década 70's-80's) en la región Pacífico Norte.	19
Figura 2.6. Fecha de fotografías aéreas e imágenes Landsat utilizadas para la elaboración del mapa: Fecha 1 (década 70's-80's) en las regiones Golfo de México y Península de Yucatán.	20
Figura 2.7. Fecha de fotografías aéreas e imágenes Landsat utilizadas para la elaboración del mapa: Fecha 1 (década 70's-80's) en las regiones Pacífico Centro y Pacífico Sur.	21
Figura 2.8. Área de estudio en Laguna Pom Atasta, Campeche.	29
Figura 2.9. Área de estudio para Laguna de Agua Brava, Nayarit.	29
Figura 2.10. Área de estudio Laguna Pom Atasta, Campeche, para la estimación de estructura vegetal de manglares y biomasa <i>in situ</i> .	34
Figura 2.11. Área de estudio Laguna Agua Brava, Nayarit, para estimación de la estructura vegetal de manglares y biomasa <i>in situ</i> .	35
Figura 2.12. Esquema del Sistema de Monitoreo de Manglares de México.	43
Figura 3.1. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Tamaulipas en los años 1976 y 2005.	49
Figura 3.2. Distribución de los cambios de Manglar en el área de estudio en el estado de Tamaulipas durante el periodo 1976 – 2005.	50
Figura 3.3. Río Bravo, Tamaulipas. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar respecto a otros humedales y cuerpos de agua en el periodo 1976 – 2005.	51
Figura 3.4. Tampico y Ciudad Madero, Tamaulipas. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1976 – 2005.	52
Figura 3.5. Distribución de parches de la clase Manglar de acuerdo con su superficie en Tamaulipas.	55
Figura 3.6. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Tamaulipas.	56
Figura 3.7. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Tamaulipas.	56
Figura 3.8. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Veracruz en los años 1976 y 2005.	58
Figura 3.9. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Veracruz durante el periodo 1976 – 2005.	59
Figura 3.10. Sistema lagunar de Alvarado, Veracruz. Se muestran las ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1976-2005.	61
Figura 3.11. Sistema lagunar de Alvarado, Veracruz. Tipos de pérdida en la cobertura de manglar en el periodo 1976-2005.	61
Figura 3.12. Desembocadura del Río Coatzacoalcos, Veracruz. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1976-2005.	62
Figura 3.13. Desembocadura del Río Coatzacoalcos, Veracruz. Tipos de pérdida en la cobertura de manglar en el periodo 1976-2005.	62
Figura 3.14. Laguna Ostión, Veracruz. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1976-2005.	63
	X

Figura 3.15. Laguna Ostión, Veracruz. Tipos de pérdida en la cobertura de manglar en el periodo 1976-2005.	63
Figura 3.16. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Veracruz.	66
Figura 3.17. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis, en el estado de Veracruz	66
Figura 3.18. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Veracruz.	67
Figura 3.19. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Tabasco en los años 1972 y 2005.	69
Figura 3.20. Laguna Machona, Tabasco. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1972 - 2005.	70
Figura 3.21. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Tabasco durante el periodo 1972 – 2005.	71
Figura 3.22. Laguna Santa Anita, Tabasco. Áreas con mayor pérdida de manglar en el periodo 1972 - 2005.	71
Figura 3.23. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Tabasco.	75
Figura 3.24. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis, en el estado de Tabasco.	75
Figura 3.25. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Tabasco.	76
Figura 3.26. Proporción de las coberturas del suelo en el área de estudio en el estado de Campeche en los años 1981 y 2005.	78
Figura 3.27. Distribución de los cambios de manglar en área de estudio en el estado de Campeche durante el periodo 1981 – 2005.	79
Figura 3.28. Punta La Disciplina, Campeche. Ganancias y tipos de pérdida en la cobertura de manglar en el periodo 1981 - 2005.	80
Figura 3.29. Región Sur de la Laguna de Términos, Campeche. Áreas de crecimiento más importantes de la clase agropecuaria en el periodo 1981–2005.	80
Figura 3.30. Puerto Real, Campeche. Áreas de clase sin vegetación que fueron cubiertas por agua en el periodo 1981 - 2005.	81
Figura 3.31. Champotón, Campeche. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1981- 2005.	82
Figura 3.32. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Campeche.	85
Figura 3.33. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis, en el estado de Campeche.	85
Figura 3.34. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Campeche.	86
Figura 3.35. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Yucatán en los años 1979 y 2005.	88
Figura 3.36. Zona de estudio, Yucatán. Áreas de crecimiento de la clase agropecuaria en el periodo 1979 - 2005.	89
Figura 3.37. Progreso, Yucatán. Ganancias y tipos de pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 - 2005.	89
Figura 3.38. Dzilam de Bravo, Yucatán. Ganancias y tipos de pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 - 2005.	90
Figura 3.39. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Yucatán en el periodo 1979 – 2005.	90
Figura 3.40. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Yucatán.	94
Figura 3.41. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis, en el estado de Yucatán.	95
Figura 3.42. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Yucatán.	95

Figura 3.43. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Quintana Roo en los años 1981 y 2005.	97
Figura 3.44. Cancún-Playa del Carmen, Quintana Roo. Áreas de crecimiento de la clase desarrollo antrópico, en el periodo 1981 - 2005.	98
Figura 3.45. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Quintana Roo durante el periodo 1981 – 2005.	99
Figura 3.46. ANP Yum Balam, Quintana Roo. Pérdidas de manglar por otros humedales, en el periodo 1981 – 2005.	99
Figura 3.47. Laguna Chacmochuc, Quintana Roo. Tipos de pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1981 - 2005.	100
Figura 3.48. Puerto Morelos, Quintana Roo. Tipos de pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1981 - 2005.	100
Figura 3.49. Isla Holbox–Isla Cabo Catoche, Quintana Roo. Pérdida de Manglar por otros humedales y cuerpos de agua, en el periodo 1981 - 2005.	101
Figura 3.50. Parte norte de Quintana Roo. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1981 - 2005.	102
Figura 3.51. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Quintana Roo.	105
Figura 3.52. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Quintana Roo	105
Figura 3.53. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Quintana Roo.	106
Figura 3.54. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Baja California en 1982 y 2005.	107
Figura 3.55. Bahía de los Ángeles, Baja California. Crecimiento de la clase desarrollo antrópico, en el periodo 1982 – 2005.	108
Figura 3.56. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Baja California.	111
Figura 3.57. Distribución del parche con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Baja California, resultando ser el mismo.	112
Figura 3.58. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Baja California Sur en 1978 y 2005.	114
Figura 3.59. La Paz, Puerto Adolfo López Mateos y Puerto Chale, Baja California Sur. Áreas de crecimiento de la clase desarrollo antrópico, en el periodo 1978 – 2005.	115
Figura 3.60. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Baja California Sur durante el periodo 1978 – 2005.	116
Figura 3.61. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Baja California Sur.	119
Figura 3.62. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Baja California Sur.	119
Figura 3.63. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Sonora en 1973 y 2005.	122
Figura 3.64. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Sonora en 1973 y 2005.	124
Figura 3.65. Sistema lagunar La Luna-Algodones, Sonora. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1973 - 2005.	126
Figura 3.66. Estero Agiabampo, Sonora. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1973 - 2005.	126
Figura 3.67. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Sonora.	129
Figura 3.68. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Sonora.	129
Figura 3.69. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Sonora.	130
Figura 3.70. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Sinaloa en 1985 y 2005.	132

Figura 3.71. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Sinaloa durante el periodo 1985 – 2005.	134
Figura 3.72. Sistema lagunar Altata-Pabellón, Sinaloa. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1985 - 2005.	135
Figura 3.73. Bahía Guadalupeana, Sinaloa. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1985 - 2005.	136
Figura 3.74. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Sinaloa.	139
Figura 3.75. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis, en el estado de Sinaloa.	139
Figura 3.76. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Sinaloa.	140
Figura 3.77. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Nayarit en 1970 y 2005.	142
Figura 3.78. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Nayarit durante el periodo 1970 – 2005.	144
Figura 3.79. San Blas, Nayarit. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1970 - 2005.	145
Figura 3.80. Playa Novillero al norte del estado, Nayarit. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1970 - 2005.	145
Figura 3.81. Tuxpan, Nayarit. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1970 - 2005.	146
Figura 3.82. Agua Brava, Nayarit. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1970 - 2005.	147
Figura 3.83. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Nayarit.	150
Figura 3.84. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Nayarit.	151
Figura 3.85. Dobreposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Nayarit.	151
Figura 3.86. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Jalisco en los años 1971 y 2005.	153
Figura 3.87. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Jalisco durante el periodo 1971 – 2005.	155
Figura 3.88. Costa de Tomatlán, Jalisco. Pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1971 – 2005.	155
Figura 3.89. Barra de Navidad, Jalisco. Pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1971 – 2005.	156
Figura 3.90. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Jalisco.	159
Figura 3.91. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Jalisco.	159
Figura 3.92. En azul claro se muestra la ubicación del parche con mayor índice integral de conectividad para la Fecha 1 en el estado de Jalisco, el cual ya no existe para la Fecha 2 del análisis. A la derecha, en <i>Google Earth</i> en el límite verde se muestra la distribución del parche con mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1 y su conversión a agricultura en la Fecha 2.	160
Figura 3.93. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Colima en los años 1971 y 2005.	162
Figura 3.94. Manzanillo y Tecomán, Colima. Cambios de cobertura con mayor superficie en el área de estudio en el periodo 1971 – 2005.	164
Figura 3.95. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Colima durante el periodo 1971 – 2005.	165
Figura 3.96. Laguna Cuyutlán, Colima. Pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1971 – 2005.	166
Figura 3.97. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Colima.	169
Figura 3.98. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Colima.	169

Figura 3.99. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Colima	170
Figura 3.100. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Michoacán en 1974 y 2005.	172
Figura 3.101. Puerto Lázaro Cárdenas, Michoacán. Crecimiento de la clase desarrollo antrópico, en el periodo 1974–2005	173
Figura 3.102. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Michoacán durante el periodo 1974 – 2005.	174
Figura 3.103. Coahuayana de Hidalgo, Michoacán. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1974 - 2005	174
Figura 3.104. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Michoacán.	178
Figura 3.105 Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis, en el estado de Michoacán.	178
Figura 3.106. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Michoacán.	179
Figura 3.107. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Guerrero en 1979 y 2005.	181
Figura 3.108. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Guerrero durante el periodo 1979 – 2005.	182
Figura 3.109. Zihuatanejo-Petatlán, Guerrero. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 – 2005.	184
Figura 3.110. Atoyac de Álvarez-Coyuca de Benítez, Guerrero. Ganancias pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 – 2005.	184
Figura 3.111. Tres Palos-Chautengo, Guerrero. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 – 2005.	185
Figura 3.112. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Guerrero.	188
Figura 3.113. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Guerrero.	188
Figura 3.114. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Guerrero.	189
Figura 3.115. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Oaxaca en 1979 y 2005.	191
Figura 3.116. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Oaxaca durante el periodo 1979 – 2005.	193
Figura 3.117. Sistema Lagunar Chacahua, Oaxaca. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 – 2005.	193
Figura 3.118. Sistema Lagunar Corralero, Oaxaca. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 – 2005.	194
Figura 3.119. Sistema Lagunar Mar Muerto, Oaxaca. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 – 2005.	195
Figura 3.120. Corredor afectado por el huracán Paulina, Oaxaca. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 – 2005.	195
Figura 3.121. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Oaxaca.	198
Figura 3.122. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Oaxaca.	198
Figura 3.123. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Oaxaca.	199
Figura 3.124. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Chiapas en 1972 y 2005.	201

Figura 3.125. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Chiapas durante el periodo 1972 – 2005.	203
Figura 3.126. Sistema Lagunar Mar Muerto, Chiapas. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1972 – 2005.	205
Figura 3.127. Sistema Lagunar La Joya-Buena Vista, Chiapas. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1972 – 2005.	205
Figura 3.128. Sistema Lagunar Carretas Pereyra, Chiapas. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1972 – 2005.	206
Figura 3.129. Barra Cahoacán, Chiapas. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1972 – 2005.	206
Figura 3.130. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Chiapas.	209
Figura 3.131. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Chiapas.	209
Figura 3.132. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Chiapas.	210
Figura 3.133. a) Área de estudio para series de tiempo, imagen SPOT 5 del año 2005; b) Uso de suelo y vegetación en Laguna Pom Atasta, Campeche.	214
Figura 3.134. Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio de escena completa (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación).	215
Figura 3.135. Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio y desviación estándar de las coberturas de manglar y otros humedales (compuestos con interpolación lineal).	216
Figura 3.136. Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio de escena completa (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación).	217
Figura 3.137. Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio y desviación estándar de las coberturas de manglar y otros humedales (compuestos con interpolación lineal).	217
Figura 3.138. Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio de escena completa (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación).	218
Figura 3.139. Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio de las cobertura de manglar y otros humedales (compuestos con interpolación lineal).	219
Figura 3.140. a) Área de estudio para series de tiempo, imagen SPOT 4 del año 2004; b) uso de suelo y vegetación en Laguna Agua Brava, Nayarit.	220
Figura 3.141. Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de escena completa (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación).	221
Figura 3.142. Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de las cobertura de manglar y otras coberturas (compuestos con interpolación lineal).	221
Figura 3.143. Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de escena completa (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación).	222
Figura 3.144. Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de las coberturas de manglar y otras coberturas (compuestos con interpolación lineal).	222
Figura 3.145. Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de las coberturas de manglar y otras coberturas (compuestos con interpolación lineal).	223
Figura 3.146. Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de las coberturas de manglar y otras coberturas (compuestos con interpolación lineal).	224
Figura 3.147. Clases de NDVI para la cobertura de manglar y ubicación de unidades de muestreo, en Laguna Pom Atasta, Campeche.	226
Figura 3.148. Clases de NDVI para la cobertura de manglar y ubicación de unidades de muestreo en Laguna Agua Brava, Nayarit.	227
Figura 3.149. Altura promedio de las especies de selva baja inundable y especies de manglar en Laguna Pom Atasta, Campeche.	229

Figura 3.150. Densidad de las especies de selva baja inundable y especies de manglar en Laguna Pom Atasta, Campeche.	229
Figura 3.151. Área basal de especies de selva baja inundable y especies de manglar en Laguna Pom Atasta, Campeche.	229
Figura 3.152. Biomasa por arriba del suelo de especies de selva baja inundable y especies de manglar en Laguna Pom Atasta, Campeche.	229
Figura 3.153. Altura promedio de las especies de manglar en Laguna Agua Brava, Nayarit.	232
Figura 3.154. Densidad de las especies de manglar en Laguna Agua Brava, Nayarit.	232
Figura 3.155. Área basal de las especies de manglar en Laguna Agua Brava, Nayarit.	232
Figura 3.156. Biomasa por arriba del suelo de las especies de manglar en Laguna Agua Brava, Nayarit.	232
Figura 3.157. Imágenes e histogramas de retrodispersión para las polarizaciones HH y HV en Laguna Pom Atasta, Campeche (2009).	236
Figura 3.158. Imágenes e histogramas de retrodispersión para imágenes de polarizaciones escaladas (0 a 1) en Laguna Pom Atasta, Campeche (2009).	237
Figura 3.159. Distribución espacial de los valores de retrodispersión obtenidos de la multiplicación de la polarización HH escalada y HV escalada en Laguna Pom Atasta.	238
Figura 3.160. Imágenes e histogramas de retrodispersión para las polarizaciones HH y HV en Laguna Agua Brava, Nayarit (2009).	240
Figura 3.161. Distribución espacial de los valores de retrodispersión obtenidos de la multiplicación de la polarización HH escalada y HV escalada en Laguna Agua Brava.	241
Figura 3.162. Distribución espacial de los valores de retrodispersión obtenidos de la multiplicación de la polarización HH escalada y HV escalada en Laguna Pom Atasta.	242

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Sistema de clasificación utilizado en el procesamiento digital de las imágenes satelitales.	14
Tabla 2.2. Características de los productos MODIS para la exploración de parámetros biofísicos.	30
Tabla 2.3. Proyección y coordenadas extremas de las áreas de estudio para la exploración de parámetros biofísicos.	31
Tabla 2.4. Número de compuestos para el proceso de interpolación anual en la exploración de parámetros biofísicos.	32
Tabla 2.5. Series de tiempo para cada área de estudio y producto MODIS en Laguna Pom Atasta, Campeche.	33
Tabla 2.6. Series de tiempo para cada área de estudio y producto MODIS en Agua Brava, Nayarit.	33
Tabla 2.7. Características de las máscaras aplicadas para cada cobertura en las áreas de estudio para la exploración de parámetros biofísicos.	34
Tabla 2.8. Características de las imágenes de satélite para el análisis de NDVI.	35
Tabla 2.9. Análisis de NDVI para cada área de estudio.	36
Tabla 2.10. Fórmulas alométricas y coeficientes de regresión para la estimación de biomasa vegetal.	38
Tabla 2.11. Características de las imágenes ALOS Palsar.	39
Tabla 3.1. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de la República Mexicana.	45
Tabla 3.2. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de la República Mexicana, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	46
Tabla 3.3. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Tamaulipas.	48
Tabla 3.4. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Tamaulipas, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	48
Tabla 3.5. Extensión del uso del suelo y vegetación en Tamaulipas (1976-2005).	49
Tabla 3.6. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Tamaulipas (1976-2005).	53
Tabla 3.7. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Tamaulipas (1976-2005).	53
Tabla 3.8. Atributos e índices de la clase <i>Manglar</i> en el estado de Tamaulipas.	54
Tabla 3.9. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Veracruz.	57
Tabla 3.10. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Veracruz, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	57
Tabla 3.11. Extensión del uso del suelo y vegetación en Veracruz (1976-2005).	58
Tabla 3.12. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Veracruz (1976-2005).	64
Tabla 3.13. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Veracruz (1976-2005).	64
Tabla 3.14. Atributos e índices de la clase <i>Manglar</i> en el estado de Veracruz.	65
Tabla 3.15. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Tabasco.	68
Tabla 3.16. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Tabasco, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	68
Tabla 3.17. Extensión del uso del suelo y vegetación en Tabasco (1972-2005).	70
Tabla 3.18. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Tabasco (1972-2005).	73
Tabla 3.19. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Tabasco (1972-2005).	73

Tabla 3.20. Atributos e índices de la clase Manglar en el estado de Tabasco.	74
Tabla 3.21. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Campeche.	77
Tabla 3.22. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Campeche, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	77
Tabla 3.23. Extensión del uso del suelo y vegetación en Campeche (1981-2005).	78
Tabla 3.24. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Campeche (1981-2005).	83
Tabla 3.25. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Campeche (1981-2005).	83
Tabla 3.26. Atributos e índices de la clase Manglar en el estado de Campeche.	84
Tabla 3.27. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Yucatán.	87
Tabla 3.28. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Yucatán, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	87
Tabla 3.29. Extensión del uso del suelo y vegetación en Yucatán (1979-2005).	88
Tabla 3.30. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Yucatán (1979-2005).	92
Tabla 3.31. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Yucatán (1979-2005).	92
Tabla 3.32. Atributos e índices de la clase Manglar en el estado de Yucatán.	93
Tabla 3.33. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Quintana Roo.	96
Tabla 3.34. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Quintana Roo, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	96
Tabla 3.35. Extensión del uso del suelo y vegetación en Quintana Roo (1981-2005).	97
Tabla 3.36. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Quintana Roo (1981-2005).	103
Tabla 3.37. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Quintana Roo (1981-2005).	103
Tabla 3.38. Atributos e índices de la clase Manglar en el estado de Quintana Roo.	104
Tabla 3.39. Extensión del uso del suelo y vegetación en Baja California (1982-2005).	108
Tabla 3.40. Matriz de detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Baja California (1982-2005).	110
Tabla 3.41. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Baja California (1982-2005).	110
Tabla 3.42. Atributos e índices de la clase Manglar en el estado de Baja California.	111
Tabla 3.43. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Baja California Sur.	113
Tabla 3.44. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Baja California Sur, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	113
Tabla 3.45. Extensión del uso del suelo y vegetación en Baja California Sur (1978-2005).	114
Tabla 3.46. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Baja California Sur (1978-2005).	117
Tabla 3.47. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Baja California Sur (1978-2005).	117
Tabla 3.48. Atributos e índices de la clase Manglar en el estado de Baja California Sur.	118
Tabla 3.49. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Sonora.	121

Tabla 3.50. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Sonora, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	121
Tabla 3.51. Extensión del uso del suelo y vegetación en Sonora (1973-2005).	122
Tabla 3.52. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Sonora (1973-2005).	127
Tabla 3.53. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Sonora (1973-2005).	127
Tabla 3.54. Atributos e índices de la clase Manglar en el estado de Sonora.	128
Tabla 3.55. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Sinaloa.	131
Tabla 3.56. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Sinaloa, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	131
Tabla 3.57. Extensión del uso del suelo y vegetación en Sinaloa (1985-2005).	132
Tabla 3.58. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Sinaloa (1985-2005).	137
Tabla 3.59. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Sinaloa (1985-2005).	137
Tabla 3.60. Atributos e índices de la clase Manglar en el estado de Sinaloa.	138
Tabla 3.61. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Nayarit.	141
Tabla 3.62. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Nayarit, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	141
Tabla 3.63. Extensión del uso del suelo y vegetación en Nayarit (1970-2005).	142
Tabla 3.64. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Nayarit (1970-2005).	148
Tabla 3.65. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Nayarit (1970-2005).	148
Tabla 3.66. Atributos e índices de la clase Manglar en el estado de Nayarit.	149
Tabla 3.67. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Jalisco.	152
Tabla 3.68. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Jalisco, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	152
Tabla 3.69. Extensión del uso del suelo y vegetación en Jalisco (1971-2005).	153
Tabla 3.70. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Jalisco (1971-2005).	157
Tabla 3.71. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Jalisco (1971-2005).	157
Tabla 3.72. Atributos e índices de la clase Manglar en el estado de Jalisco.	158
Tabla 3.73. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Colima.	161
Tabla 3.74. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Colima, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	161
Tabla 3.75. Extensión del uso del suelo y vegetación en Colima (1971-2005).	162
Tabla 3.76. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Colima (1971-2005).	167
Tabla 3.77. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Colima (1971-2005).	167
Tabla 3.78. Resultados del cálculo de índices de la clase Manglar en el estado de Colima.	168
Tabla 3.79. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Michoacán.	171
Tabla 3.80. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Michoacán, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	171
Tabla 3.81. Extensión del uso del suelo y vegetación en Michoacán (1974-2005).	173

Tabla 3.82. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Michoacán (1974-2005).	176
Tabla 3.83. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Michoacán (1974-2005)	176
Tabla 3.84. Atributos e índices de la clase Manglar en el estado de Michoacán.	177
Tabla 3.85. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Guerrero.	180
Tabla 3.86. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Guerrero, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	180
Tabla 3.87. Extensión del uso del suelo y vegetación en Guerrero (1979-2005).	182
Tabla 3.88. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Guerrero (1979-2005).	186
Tabla 3.89. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Guerrero (1979-2005).	186
Tabla 3.90. Atributos e índices de la clase Manglar en el estado de Guerrero.	187
Tabla 3.91. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Oaxaca.	190
Tabla 3.92. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Oaxaca, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	190
Tabla 3.93. Extensión del uso del suelo y vegetación en Oaxaca (1979-2005).	191
Tabla 3.94. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Oaxaca (1979-2005).	196
Tabla 3.95. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Oaxaca (1979-2005).	196
Tabla 3.96. Atributos e índices de la clase Manglar en el estado de Oaxaca.	197
Tabla 3.97. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Chiapas.	200
Tabla 3.98. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Chiapas, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.	200
Tabla 3.99. Extensión del uso del suelo y vegetación en Chiapas (1972-2005).	201
Tabla 3.100. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Chiapas (1972-2005).	207
Tabla 3.101. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Chiapas (1972-2005).	207
Tabla 3.102. Atributos e índices de la clase Manglar en el estado de Chiapas.	208
Tabla 3.103. Evaluación de calidad para productos MODIS en Laguna Pom Atasta, Campeche.	212
Tabla 3.104. Evaluación de calidad para productos MODIS en Laguna Agua Brava, Nayarit.	212
Tabla 3.105. Criterios para interpolaciones lineales de productos MODIS en las áreas de estudio.	213
Tabla 3.106. Valores de índices para las dos áreas de manglar.	224
Tabla 3.107. Estructura de la comunidad vegetal de manglar y biomasa <i>in situ</i> por clase en Laguna Pom Atasta, Campeche.	230
Tabla 3.108. Estructura de la comunidad vegetal de manglar y biomasa <i>in situ</i> por clase en Laguna Agua Brava, Nayarit.	233
Tabla 3.109. Correlaciones entre imágenes de radar para Laguna Pom Atasta, Campeche.	239
Tabla 3.110. Correlaciones para la exploración de la estimación de biomasa en Laguna Agua Brava, Nayarit.	242
Tabla 3.111. Correlación de biomasa estimada <i>in situ</i> , NDVI y LAI a 1000 x 1000 m para Laguna Pom Atasta, Campeche.	244
Tabla 3.112. Correlación de biomasa estimada <i>in situ</i> , NDVI y LAI a 1000 x 1000 m para Laguna Agua Brava, Nayarit.	245
Tabla 3.113. Parámetros e indicadores del Sistema de Monitoreo de Manglares de México.	251
Tabla 3.114. Descripción y características de los parámetros e Indicadores del Sistema de Monitoreo de Manglares de México.	252

Tabla 3.115. Indicadores para la caracterización biológica y ambiental a nivel de Parcelas de monitoreo.	255
Tabla 3.116. Resultados a Nivel Nacional del Sistema de Monitoreo de Manglares de México.	259
Tabla 3.117. Resultados a Nivel Estatal del Sistema de Monitoreo de Manglares de México (parte I).	260
Tabla 3.118. Resultados a Nivel Estatal del Sistema de Monitoreo de Manglares de México (parte II).	260
Tabla 3.119. Resultados a Nivel Sitios Piloto del Sistema de Monitoreo de Manglares de México.	261
Tabla 4.1. Productos que se encontrarán disponibles en el geoportal en la sección de Biodiversidad, Monitoreo de Manglares.	262

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Mapas de detección de cambios por estado
ANEXO 2. Mapas de conectividad de manglares por estado
ANEXO 3. Fotografías del trabajo de campo para la estimación de la estructura vegetal de la comunidad de manglar y biomasa
ANEXO 4. Estructura de manglares en Laguna Agua Brava
ANEXO 5. Estructura de manglares en Laguna Pom-Atasta
ANEXO 6. Informe financiero

CARTOGRAFÍA DIGITAL

1. Uso del suelo y Vegetación de Tamaulipas, 1976
2. Uso del suelo y Vegetación de Tamaulipas, 2005
3. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Tamaulipas (1976-2005)
4. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Tamaulipas (1976-2005)
5. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Tamaulipas, 1976
6. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Tamaulipas, 2005
7. Uso del suelo y Vegetación de Veracruz, 1976
8. Uso del suelo y Vegetación de Veracruz, 2005
9. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Veracruz (1976-2005)
10. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Veracruz (1976-2005)
11. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Veracruz, 1976
12. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Veracruz, 2005
13. Uso del suelo y Vegetación de Tabasco, 1972
14. Uso del suelo y Vegetación de Tabasco, 2005
15. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Tabasco, (1972-2005)
16. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Tabasco, (1972-2005)
17. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Tabasco, 1972
18. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Tabasco, 2005
19. Uso del suelo y Vegetación de Campeche, 1981
20. Uso del suelo y Vegetación de Campeche, 2005
21. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Campeche (1981-2005)
22. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Campeche (1981-2005)
23. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Campeche, 1981
24. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Campeche, 2005
25. Uso del suelo y Vegetación de Yucatán, 1979
26. Uso del suelo y Vegetación de Yucatán, 2005
27. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Yucatán (1979-2005)
28. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Yucatán (1979-2005)
29. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Yucatán, 1979
30. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Yucatán, 2005
31. Uso del suelo y Vegetación de Quintana Roo, 1981
32. Uso del suelo y Vegetación de Quintana Roo, 2005
33. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Quintana Roo (1981-2005)
34. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Quintana Roo (1981-2005)
35. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Quintana Roo (1981)
36. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Quintana Roo (2005)
37. Uso del suelo y Vegetación de Baja California, 1982
38. Uso del suelo y Vegetación de Baja California, 2005
39. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Baja California, (1982-2005)
40. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Baja California, (1982-2005)
41. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Baja California, 1982
42. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Baja California, 2005
43. Uso del suelo y Vegetación de Baja California Sur, 1978
44. Uso del suelo y Vegetación de Baja California Sur, 2005
45. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Baja California Sur, (1978-2005)
46. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Baja California Sur, (1978-2005)
47. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Baja California Sur, 1978
48. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Baja California Sur, 2005
49. Uso del suelo y Vegetación de Sonora, 1973
50. Uso del suelo y Vegetación de Sonora, 2005
51. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Sonora (1973-2005)
52. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Sonora (1973-2005)
53. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Sonora, 1973

54. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Sonora, 2005
55. Uso del suelo y Vegetación de Sinaloa, 1985
56. Uso del suelo y Vegetación de Sinaloa, 2005
57. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Sinaloa (1985-2005)
58. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Sinaloa (1985-2005)
59. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Sinaloa, 1985
60. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Sinaloa, 2005
61. Uso del suelo y Vegetación de Nayarit, 1970
62. Uso del suelo y Vegetación de Nayarit, 2005
63. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Nayarit (1970-2005)
64. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Nayarit (1970-2005)
65. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Nayarit, 19
66. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Nayarit , 2005
67. Uso del suelo y Vegetación de Jalisco, 1971
68. Uso del suelo y Vegetación de Jalisco, 2005
69. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Jalisco (1971-2005)
70. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Jalisco (1971-2005)
71. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Jalisco, 1971
72. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Jalisco, 2005
73. Uso del suelo y Vegetación de Colima, 1971
74. Uso del suelo y Vegetación de Colima, 2005
75. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Colima (1971-2005)
76. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Colima (1971-2005)
77. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Colima, 1971
78. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Colima, 2005
79. Uso del suelo y Vegetación de Michoacán, 1974
80. Uso del suelo y Vegetación de Michoacán, 2005
81. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Michoacán, (1974-2005)
82. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Michoacán, (1974-2005)
83. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Michoacán, 1974
84. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Michoacán, 2005
85. Uso del suelo y Vegetación de Guerrero, 1979
86. Uso del suelo y Vegetación de Guerrero, 2005
87. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Guerrero (1979-2005)
88. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Guerrero (1979-2005)
89. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Guerrero, 1979
90. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Guerrero, 2005
91. Uso del suelo y Vegetación de Oaxaca, 1979
92. Uso del suelo y Vegetación de Oaxaca, 2005
93. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Oaxaca (1979-2005)
94. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Oaxaca (1979-2005)
95. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Oaxaca, 1979
96. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Oaxaca, 2005
97. Uso del suelo y Vegetación de Chiapas, 1972
98. Uso del suelo y Vegetación de Chiapas, 2005
99. Mapa de cambios en el paisaje en el estado de Chiapas (1972-2005)
100. Mapa de cambios en la cobertura de manglar en el estado de Chiapas (1972-2005)
101. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Chiapas, 1972
102. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Chiapas, 2005
103. Regionalización de los manglares de México, 2005

Todos los mapas se entregan en proyección Cónica Conforme de Lambert y coordenadas geográficas.

ABREVIATURAS

ACERCA: Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria

AICAS: Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves

ALOS: Advanced Land Observing Satellite

ANP: Área Natural Protegida

AOI: Area of interest

AP: Área promedio de los parches

AT: Área total de clase manglar

CDB: Convenio sobre la diversidad biológica

CIAD: Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.

CITES: Convención Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres

CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

CONANP: Comisión Natural de Áreas Naturales Protegidas

EL: Estabilidad de localización

ERMEXS: Estación de Recepción México de la constelación SPOT

ERSDAC: Earth Remote Sensing Data Analysis Center

EVI: Enhanced Vegetation Index

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

FCT: The Forest Carbon Tracking Task

GEO: Group on Earth Observation

GPS: Global Positioning System

HH: Horizontal-horizontal

HV: Horizontal-vertical

IA_L: Índice de amenaza/integridad por longitud de frontera compartida con clases antrópicas.

IA_S: Índice de amenaza/integridad por superficie de clases antrópicas adyacentes.

Fundación ICA: Fundación de Ingenieros Civiles Asociados.

IF: Índice de fragmentación

IIC: Índice Integral de Conectividad

INECOL: Instituto de Ecología A.C.

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

INF 2000: Inventario Nacional Forestal 2000

IPM: Índice de parche mayor

JERS: Japanese Earth Resources Satellite

LAI: Leaf area index

Landsat MSS: Landsat Multispectral Scanner

Landsat TM: Landsat Thematic Mapper

MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

NP: Número de parches

PALSAR: Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar

PREP: Programa de Recuperación de Especies Prioritarias

PROFEPA: Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

R_c: Dispersión de parches.

REDD: Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation

SAGA: System for Automated Geoscientific Analyses

SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación

SAR: Synthetic Aperture Radar

SEMAR: Secretaría de Marina

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

SIG: Sistemas de información geográfica

SINFA: Sistema Nacional de Fotografías Aéreas

SPOT: Satellite Pour l'Observation de la Terre

UTM: Universal Transverse Mercator

RESUMEN

Este trabajo es la continuación del proyecto “Los Manglares de México: Estado Actual y Establecimiento de un Programa de Monitoreo a Largo Plazo: 1^{ra} etapa” asociado al programa de monitoreo de ecosistemas de la CONABIO, y que consta de tres etapas.

El objetivo general del presente trabajo fue desarrollar un programa de monitoreo sistematizado de los manglares de México a largo plazo, a través de indicadores ambientales, para determinar las condiciones de la vegetación y los principales agentes de transformación de los manglares del país, a través de técnicas de percepción remota y trabajo *in situ*, para identificar oportunamente sitios de conservación, manejo o rehabilitación de este hábitat.

Durante la segunda y tercera etapas del proyecto, se trabajó en una zona buffer de 5 kilómetros circundantes a los manglares del país cartografiados, en la primera etapa, por CONABIO en 2009.

En estas dos etapas se evaluó el cambio de uso de suelo en un periodo aproximado de 30 años, se identificaron los principales agentes de transformación que inciden en este hábitat y se realizó una exploración de parámetros biofísicos como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), índice de vegetación mejorado (EVI), índice de área foliar (LAI) y biomasa, para detectar cambios en la condición de la vegetación a través del tiempo; además se identificaron algunos patrones espaciales de fragmentación y conectividad de los manglares de cada estado.

Con la integración y análisis de los resultados de la primera y segunda etapa del proyecto en la tercera etapa fue posible definir parámetros e indicadores para conformar un sistema de monitoreo de los manglares de México a largo plazo.

Dentro de los resultados más importantes de este proyecto se encuentra la clasificación, para dos fechas, que abarcan un periodo aproximado de 25 años, del uso del suelo y vegetación de aproximadamente 86,241 km² en la zona costera de México. Esta área de estudio comprende la totalidad de parches de manglar mayores a 1 ha y zonas colindantes en los 17 estados costeros de la república.

Se realizaron adecuaciones en el mapa de distribución de manglares de México para el año 2005 (1:50,000) publicado por CONABIO en 2009; en función a las observaciones realizadas por los especialistas en manglar e información histórica utilizada para la clasificación de manglar en la década de los setentas y ochentas. La extensión para 2005, que se obtuvo a partir de este proceso fue de 774,090 ha, lo cual significa que existe 0.5% de variación con respecto al dato reportado anteriormente (770,057 ha).

Con el análisis retrospectivo de la década de los setentas y ochentas, de acuerdo con la disponibilidad de fotografías aéreas e imágenes de satélite, se obtuvo una extensión de 856,308 ha de manglar a escala 1:50,000, lo que indica una pérdida de 82,218 ha en el periodo de análisis (1981 - 2005)

La tasa ponderada de transformación anual de la cobertura de manglar a nivel nacional indica una pérdida de 0.38% de la superficie de manglar cada año.

A nivel estatal, Jalisco presentó la tasa más alta de transformación de manglar con 3.9% de pérdida anual de esta cobertura. Esta tasa de transformación significó la pérdida del 73.5% de la cobertura de manglar (5,948 ha) desde el año 1971 para este estado.

El estado que registró la mayor pérdida neta de superficie de manglar fue Campeche con 17,307 ha lo que representa una pérdida del 8% en relación con la cobertura de manglar que tenía en 1981.

Por otro lado, Tabasco presentó durante el periodo de estudio una tasa de cambio positiva de 0.22% anual de manglar, lo que significa un incremento neto de 2,983 ha de manglar para la entidad. Aunque el balance es positivo, es importante considerar que varias áreas en el estado sufrieron pérdidas.

Los parches de manglar ubicados en el estado de Baja California no sufrieron modificaciones evidentes en su distribución y extensión a la escala cartográfica trabajada (1:50,000). Para ambas fechas analizadas la extensión de manglares fue de 36 ha.

Los principales agentes de cambio de manglar identificados en el presente trabajo fueron: a) las prácticas agrícola-pecuarias que transformaron las coberturas y el uso del suelo en gran parte de los estados costeros del Pacífico (Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca); b) el desarrollo antrópico que implica la pérdida directa de la cobertura de manglar por crecimiento urbano, construcción de carreteras, granjas piscícolas, granjas camaroneras, construcción de canales, presas, que afectaron principalmente a los estados de Michoacán en la zona de Lázaro Cárdenas y en Quintana Roo por desarrollos turísticos en el corredor Cancún-Tulum; c) La degradación del hábitat de manglar por efectos indirectos de las actividades antropogénicas y agrícolas-pecuarias que inducen el cambio de manglar a otros tipos de humedales.

En relación con relación los patrones espaciales, en todos los estados excepto Baja California hay una mayor fragmentación y por ende menor conectividad de la cobertura de manglar cuando se comparan las imágenes de 2005 con las de la correspondientes a 1970-1980.

La exploración de parámetros biofísicos con el NDVI, EVI y LAI nos permitió identificar el rango de respuesta de la cobertura de manglar y coberturas aledañas a éste para los índices mencionados, en dos áreas de manglar de sitios geográficos distantes durante un periodo de estudio de nueve años. Los índices que brindaron mayor información fueron el NDVI y EVI.

Por otra parte, el sitio de Laguna Pom Atasta, Campeche, presentó los manglares más altos, desarrollados, con mayor cantidad de biomasa vegetal. En esta exploración no fue posible encontrar una relación significativa entre la biomasa estimada en campo y la respuesta de imágenes de radar para ambos sitios de estudio.

Los resultados obtenidos en este proyecto fueron integrados para conformar un sistema de monitoreo, que contiene 3 componentes básicos: a) El *Componente Espacial* que incluye la elaboración de los mapas de distribución y extensión de los manglares de México, el análisis de coberturas circundantes a manglar y el cálculo de índices que nos permitirán monitorear la cobertura de manglar y sus tendencias espacio-temporales. Estos parámetros e indicadores calculados se obtienen a nivel nacional y estatal; b) El *Componente experimental* que consiste en la utilización de sitios piloto para realizar pruebas de parámetros e indicadores que contribuyan al monitoreo de manglares a través del tiempo. Este componente se implementó en los sitios de Laguna Pom-Atasta (Campeche) y Laguna Agua Brava (Nayarit) e incluye mediciones de la estructura vegetal de la comunidad de manglar, estimaciones de biomasa vegetal *in situ* y de los Índices de Vegetación de Diferencia Normalizada, Vegetación Mejorada y Área Foliar (NDVI, EVI y LAI por sus siglas en inglés); c) El *Componente social*, por desarrollar, que estará enfocado a proponer e instrumentar indicadores que permitan monitorear el efecto de acciones y políticas públicas sobre el ecosistema de manglar.

Con los datos generados en las tres etapas del proyecto, las personas e instituciones interesadas cuentan con información más específica para generar modelos ambientales para los manglares mexicanos. A partir de los resultados de este proyecto se tendrá una herramienta de fácil acceso e interpretación, para definir las acciones necesarias para la conservación, uso y rehabilitación ecológica de este tipo de hábitat. La constante retroalimentación interinstitucional retribuirá en un mayor conocimiento de los procesos y

potencialidades de las herramientas empleadas y en la interpretación de los resultados, todo lo cual puede ser aprovechado por un amplio sector académico tanto nacional como internacional.

Palabras Clave

Manglares, cambio de uso de suelo, monitoreo, percepción remota, SIG, indicadores ambientales, fragmentación, conectividad.

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar un programa de monitoreo sistematizado a largo plazo a través de indicadores ambientales, para determinar las condiciones de la vegetación y los principales agentes de transformación de los manglares de México, a través de técnicas de percepción remota y trabajo *in situ*, que sirva para identificar oportunamente sitios de conservación, manejo o rehabilitación de este hábitat.

Objetivos particulares

Segunda etapa

1. Estimar la tasa de cambio e identificar los principales agentes de transformación de los manglares de México en un periodo aproximado de 30 años.
2. Identificar los patrones e índices espaciales (procesos de fragmentación y conectividad) que inciden en los manglares de México.
3. Exploración de parámetros biofísicos y estimación de biomasa vegetal en manglares de Laguna Pom Atasta, Campeche y Laguna Agua Brava, Nayarit.

Tercera etapa

4. Identificar y caracterizar sitios prioritarios de manglar con mayor factibilidad para conservar, manejar o rehabilitar ecológicamente en los manglares del país.
5. Proponer parámetros e indicadores que ayudarán a realizar un monitoreo de los manglares de México a largo plazo.

ANTECEDENTES

La CONABIO se ha caracterizado por impulsar diversas acciones en la identificación de regiones prioritarias para la biodiversidad, considerando los ámbitos terrestres (regiones terrestres prioritarias), marino (regiones prioritarias marinas), acuático epicontinental (regiones hidrológicas prioritarias) y el grupo de aves (áreas de importancia para la conservación de las aves). Estas regiones de mayor relevancia se definieron en talleres con especialistas, considerando la riqueza de especies, presencia de organismos endémicos y áreas con mayor nivel de integridad ecológica, así como aquéllas con mayores posibilidades de conservación en función de aspectos sociales, económicos y ecológicos. Con este marco de planeación regional los esfuerzos de investigación optimizan el conocimiento de la biodiversidad en México.

Dentro de este mismo concepto, se ha desarrollado un programa sobre manglares, en el que el grupo de Percepción Remota de la CONABIO, en coordinación con otras instituciones, conjugaron esfuerzos en el desarrollo de un trabajo de investigación integral que está permitiendo paulatinamente, tener un mejor conocimiento sobre este tipo de hábitat y tener propuestas oportunas para su conservación.

Con el desarrollo de la primera etapa del proyecto se estimó la distribución de los manglares de México a una escala 1:50,000, mediante el análisis digital de imágenes principalmente de 2005, del satélite SPOT, uso de fuentes de referencia como los datos vectoriales de la carta de Uso de Suelo y Vegetación (INEGI 2005), entre otras y trabajo de campo.

Para la validación del mapa nacional de manglares se realizaron sobrevuelos en helicóptero por toda la zona costera de México, con los que se obtuvo una base de aproximadamente 100 mil fotografías aéreas verticales y panorámicas que están a disposición del público en el Geoportal de la CONABIO.

Por otra parte, entre uno de los aportes novedosos del proyecto, se encuentra el análisis de productos derivados de imágenes MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), como el NDVI, EVI y LAI, en series de tiempo, para identificar cambios en la vegetación de manglar, ya que es poco común y aún no se conocen con precisión las potencialidades, limitaciones e interpretación de resultados de este tipo de datos.

En este mismo sentido, la estimación de biomasa en manglares es un indicador que permite reconocer cuantitativamente la condición de la vegetación y su desarrollo, además de su relevancia a nivel global en los ciclos biogeoquímicos, entre ellos el del carbono. El uso de imágenes de radar para la estimación de biomasa es un tema que no ha sido explorado en México, e incluso a nivel internacional los trabajos que se han documentado han sido pocos (Mougin *et al.* 1999, Proisy *et al.* 2000, Proisy *et al.* 2002, Simard *et al.* 2006). A pesar de que en últimos años el análisis de imágenes de radar para la estimación de biomasa vegetal ha sido una de las más eficientes (Luckman *et al.* 2000, Tansey *et al.* 2004, Santoro *et al.* 2007).

También es relevante mencionar que uno de los sitios piloto de manglar seleccionado, en Laguna de Términos Campeche, para la exploración de los parámetros biofísicos y la estimación de biomasa, es uno de los sitios de validación/calibración del Grupo de Observaciones de la Tierra (GEO) y del proyecto de Seguimiento de Carbono Forestal (FCT) (GEO-FCT 2009).

Tanto la exploración de parámetros biofísicos y estimación de biomasa con productos MODIS, y la estimación de biomasa con imágenes de radar en manglares, permite proponer indicadores para un monitoreo de los manglares de México a largo plazo.

Con este programa de investigación interinstitucional, se está llevando a cabo la integración del Sistema de Monitoreo de los Manglares de México, con el que México, entre otras cosas, podrá tener respuestas concretas y objetivas, a las metas establecidas en los indicadores definidos en el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), para conocer el estado de la biodiversidad a nivel mundial; entre estos indicadores ambientales se encuentran la extensión y localización de los manglares. En esta investigación se consideró no sólo definir su distribución sino también la condición de la vegetación a través de la

evaluación y monitoreo de diversas variables ambientales e identificación de los principales agentes de transformación de los manglares de México.

1. MARCO TEÓRICO

MANGLARES: DESCRIPCIÓN, IMPORTANCIA Y PROBLEMÁTICA

En condiciones ideales, los manglares están entre uno de los más productivos ecosistemas terrestres. Ellos mantienen una de las más altas biomásas permanentes, comparables con muchos otros bosques del trópico húmedo (Alongi 2009); son humedales costeros característicos de las zonas tropicales y subtropicales, los cuales se constituyen por la vegetación arbórea y arbustiva localizada en el espacio de transición de las zonas costeras dotadas de un régimen estuarino o lagunar (Osborne 2000). Los manglares se conforman por unidades taxonómicas muy diversas, agrupadas aproximadamente en 16 familias. En el ámbito mundial se conocen 54 especies que se conocen como mangles; 34 de ellas son mangles estrictos o verdaderos (Tomlinson 1986, McKee 1996). El grado estructural y la distribución de las especies, en los manglares, están determinados por diversos factores, entre los que destacan la disponibilidad de agua dulce y nutrientes terrestres, los flujos de mareas, el clima, la frecuencia de huracanes, la edad de la vegetación y los contaminantes u otros impactos antropogénicos (Herz 1999).

Los manglares se caracterizan por ser importantes desde el punto de vista biológico, económico y social. Por ejemplo, al ser zonas de alimentación, refugio y crecimiento de juveniles de crustáceos y alevines funcionan como hábitat de apoyo a las pesquerías de la plataforma continental, por lo que sostienen una elevada producción pesquera, son fuentes de energía (leña) para el hombre y poseen un alto valor estético y recreativo (Tomlinson 1986, Baran y Hambrey 1998, Osborne 2000). Además, los manglares actúan como sistemas naturales de control de inundaciones en la zona costera, así como barreras contra huracanes e intrusión salina, controlan la erosión y protegen las costas, mejoran la calidad del agua al funcionar como filtro biológico removiendo nutrientes y toxinas, contribuyen en la prevención de la acidificación de los suelos y en el mantenimiento de sistemas y procesos naturales tales como respuestas a cambios en el nivel del mar, mantienen procesos de sedimentación y funcionan como trampas de carbono. Asimismo, sirven de refugio de flora y fauna silvestre (Day *et al.* 1987, Flores-Verdugo 1989, McKee 1996, Osborne 2000).

Existe un incremento en la apreciación de los manglares como ambientes costeros altamente productivos, dinámicos y de protección, así como una eminente preocupación por la tasa a la cual se están perdiendo en todo el mundo, particularmente por el desarrollo de actividades antropogénicas (Parks y Bonifaz 1994, Mackey y Smail 1995, Spalding 2010). Por lo anterior, se han establecido diversos acuerdos internacionales entre los que cabe destacar los siguientes: La Convención de Ramsar (1971), un tratado intergubernamental que brinda un marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y uso racional de los humedales y sus recursos y el Convenio sobre Diversidad Biológica (1992), en el que se definieron una serie de indicadores ambientales para evaluar el estado de la biodiversidad a nivel global, entre los que se encuentran la extensión y localización de los manglares.

De acuerdo con diversas estimaciones los manglares ocupaban a fines del siglo pasado una extensión de aproximadamente 170,000 km² (Hamilton y Snedaker 1984, Rollet 1986, Hamilton *et al.* 1989, Bossi y Cintron 1990, Jiménez 1990, Primavera 1989). Actualmente Spalding *et al.* (2010) indican una superficie de 152,361 km²; quienes mencionan que esta cifra se obtuvo principalmente de reportes de la FAO y sólo reportes nacionales de dos países: México y Australia. En las dos últimas décadas, de acuerdo con Valiela *et al.* (2001) se ha perdido o perturbado aproximadamente 35% de los manglares del mundo y, según los mismos autores, la camaronicultura es el principal agente perturbador. Tal es el caso de países como Filipinas, donde esta actividad fue responsable de la disminución del 75% del bosque de manglar, de

448000 ha en 1968 a 110 000 ha en 1988 (Primavera 1995). En Ecuador el 24% de la camaronicultura fue desarrollada en áreas donde anteriormente había manglar, lo que representa 13-14% del área original del manglar (Macintosh y Phillips 1992).

Por su naturaleza costera, los manglares pueden sufrir impactos severos, tanto de origen natural como antropogénico. Algunos de los factores naturales que contribuyen a la degradación y/o pérdida de los manglares son los huracanes (Kovacs *et al.* 2004), procesos geomorfológicos, reducción en las descargas de los ríos, cambios en los regímenes de mareas, sequías y altas tasas de sedimentación. Estos agentes naturales ocasionan cambios en la salinidad, fertilidad y grado de anoxia en los manglares (McKee 1996, Day *et al.* 1987, Osborne 2000).

Entre las principales alteraciones humanas se pueden citar las pérdidas creadas por la conversión de manglares a zonas de ganadería, camaronicultura, agricultura, urbanización (principalmente desarrollos turísticos) y usos forestales, los impactos resultantes de la contaminación (vertimiento de aguas negras, lavado de tierras agrícolas) e impacto directo del desarrollo urbano y la construcción de canales, diques y caminos (Jiménez *et al.* 1985, Ramírez-García *et al.* 1998, Farnsworth y Ellison 1997, Kovacs 2000). Es importante mencionar que la mayoría de los manglares que son reclamados para la agricultura, son abandonados rápidamente como resultado de la baja producción, debida principalmente a las condiciones ácidas del suelo de la mayoría de los manglares (Jing-Eong 1995).

Las principales pérdidas, por lo regular irreparables, de los manglares son resultado de alteraciones humanas, cada ejemplo de destrucción tiene como característica común la ignorancia del valor que representan los manglares; las decisiones que favorecen la conversión de los manglares se dan frecuentemente porque el valor de los mismos es ignorado o es considerado inferior al valor de otros usos del suelo, lo cual resulta en la conversión de estas áreas en alternativas no sustentables (Saenger *et al.* 1983, Field 1999).

LOS MANGLARES DE MÉXICO

En cuanto al número de especies de manglar registradas para México se encuentran principalmente cuatro: *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*, mientras que para las costas de Chiapas se tiene registro de la presencia de *Avicennia bicolor* y *Rhizophora harrisonii* (Lopez-Portillo y Ezcurra 2002, Nettel *et al.* 2008)

Estudios recientes elaborados por el Colegio de la Frontera Sur Unidad Tapachula dirigidos por el Dr. Cristian Tovilla han ubicado un bosque maduro de *Avicennia bicolor* entre los límites municipales de Tonalá y Pijijiapan, además de encontrar nuevos sitios de distribución de *Rhizophora harrisonii* (Tovilla 2009 com. pers.).

De acuerdo con una de las estimaciones más recientes, los manglares de México ocupan alrededor de 9140 km² (FAO 2005). Sin embargo, existen inconsistencias importantes entre las cifras reportadas por diferentes autores, con diferencias de hasta 2500 km² (Ruiz-Luna *et al.* 2008), por lo que resulta irresponsable establecer tasas anuales de deforestación a nivel nacional. Asimismo, se desconoce objetivamente cuáles han sido los principales agentes de transformación que se han dado sobre los sistemas de manglar en México. No obstante, en México a diferencia de otros países, la camaronicultura no parece ser el principal factor de transformación (Berlanga-Robles *et al.* 2011), es muy probable que errores en el desarrollo de infraestructura, desarrollos turísticos e inmobiliarios sean los principales agentes de cambio en manglares. En la primera fase del proyecto se obtuvo la distribución de los manglares en México para 2005 y se estimó una cifra de 774 090 ha. Los métodos utilizados, así como otras actividades realizadas en la primera etapa del proyecto fueron publicados por la CONABIO en el libro “Manglares de México: Extensión y distribución” en el 2009.

USO DE TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA EN EVALUACIONES DE MANGLAR

El uso de sensores remotos (satélite, fotografía aérea, videografía y radar) ofrece múltiples ventajas, entre ellas rapidez en la adquisición de datos y en algunas ocasiones reducción del costo. Dichas herramientas se han utilizado en la evaluación de la deforestación y desarrollo de las actividades acuícolas, así como en inventarios con propósito de mapeo, zonación y para establecer prioridades de conservación, lo que ha resultado de gran utilidad como ha sido demostrado en distintos trabajos.

En lo que respecta al estudio de los manglares con técnicas de percepción remota, en las últimas tres décadas se han utilizado una gran variedad de sensores y métodos de procesamiento de imágenes. Green *et al.* (1998) revisaron 28 estudios realizados en bosques de manglar en todo el mundo, que fueron publicados entre 1979 y 1995, de los cuales 13 trabajos utilizaron datos provenientes del sensor TM (*thematic mapper*) del satélite Landsat. Las principales técnicas de procesamiento de imágenes de satélite empleadas en el estudio de los manglares son la interpretación visual, la estimación de índices de vegetación, clasificación supervisada y no supervisada. La aplicación de dichas técnicas en el manejo costero permite el mapeo e inventario de manglares, la detección de cambios (deforestación), la evaluación de sitios para la acuicultura e inventario de estanques acuícolas en bosques de manglar (Green *et al.* 2000).

Entre los trabajos en el estudio de manglares por percepción remota con imágenes SPOT y Landsat TM están: el mapeo e inventarios de manglares [con imágenes SPOT (Aschbacher *et al.* 1995, Rasolofoharinoro *et al.* 1998, Gang y Agatsiva 1992) y con imágenes Landsat TM (Long y Skewes 1996, Kovacs *et al.* 2001)] y la evaluación de la extensión y estructura del bosque de manglar con imágenes Landsat TM (de la Lanza *et al.* 1993, de la Lanza *et al.* 1996, Ramírez-García *et al.* 1998). También se han realizado estimaciones y aplicación de índices de vegetación con imágenes Landsat TM (Green *et al.* 1997, Ramsey III y Jensen 1996) y con imágenes SPOT (Rasolofoharinoro *et al.* 1998) y la identificación de bordes de manglar por clasificación de imágenes Landsat TM y de radar JERS-SAR (Syed *et al.* 2001). Asimismo, los datos provenientes de imágenes de satélite pueden ser útiles para estimar índices o métricas del paisaje, las cuales combinadas en un Sistema de Información Geográfica (SIG) con capas de cartografía (clima, suelos, precipitación, etc.) y datos complementarios, pueden proveer estimados cuantitativos de la condición y tendencias de cambio en hábitats costeros y estuarinos (Klemas 2001). Uno de los trabajos más recientes, que utilizan técnicas de percepción remota es el desarrollado por Giri *et al.* (2008) en el que evalúan la distribución del bosque de manglar y su dinámica en un periodo 1975-2005 en la región asiática afectada por el tsunami ocurrido en diciembre de 2004, así como el de Giri *et al.* (2010) en el que se hace realizó el mapeo de los manglares a nivel nacional.

Para el caso de México, Rollet (1974) realizó una evaluación en cuatro sitios de manglar, utilizando fotografías aéreas pancromáticas (escala 1:200,000 y 1:33,000), así como falso color (escala 1:10,000). Este trabajo constituye uno de los primeros estudios de evaluación del ecosistema de manglar en México mediante el empleo de éstas técnicas. Entre otros trabajos referentes al estudio de manglares en México que involucren el empleo de técnicas de percepción remota están los de: de la Lanza *et al.* (1993), de la Lanza *et al.* (1996), Ramírez-García *et al.* (1998), Ruiz-Luna y Berlanga-Robles (1999), Kovacs (2000), Kovacs *et al.* (2001, 2004, 2005), Rodríguez-Zúñiga (2002), Acosta-Velázquez (2003), Acosta-Velázquez y Ruiz-Luna 2007, Berlanga-Robles y Ruiz-Luna (2007).

En lo que respecta a los estudios realizados con imágenes de radar en manglares, se encuentran la serie de artículos realizados por Mougin *et al.* (1999), Proisy *et al.* (2000) y Proisy *et al.* (2002), que se caracterizan por analizar la relación entre el coeficiente de retrodispersión (σ^0) en diferentes frecuencias y multi-polarizaciones, con parámetros forestales de las comunidades de manglar de la Guyana Francesa. Dentro de los principales resultados que han reportado es la sensibilidad de la banda L y P para la detección de biomasa, principalmente con la polarización cruzada HV y la copolarización HH, debido a la

interacción que presentan estas frecuencias y polarizaciones con la superficie volumétrica de las masas forestales, y por ende el fortalecimiento de la retrodispersión sin llegar a su saturación.

Otro de los estudios que corrobora el uso de la banda L de radar con la copolarización HH para la identificación de algunas características forestales en los manglares, es el realizado por Wang y Imhoff (1993), donde se muestra que hay una mayor sensibilidad del coeficiente de retrodispersión con esta frecuencia y polarización en bosques de manglar donde la superficie no está inundada, en comparación al doble rebote que se obtiene en superficies inundadas, producto de la interacción de la señal entre los troncos y la superficie.

Para el caso de estudios de radar en manglares de México, Kovacs *et al.* (2006) muestran que no hay una relación significativa entre el coeficiente de retrodispersión (σ^0) obtenido con la banda C de RADARSAT en polarización HH y parámetros estructurales de la población de manglar en Laguna de Agua Brava, Nayarit. Posteriormente para el año 2008 en este mismo sitio se vuelve a analizar la banda C ahora de ENVISAT, y se obtiene que las polarizaciones cruzadas HV y VH son más sensibles en la diferenciación entre zonas de manglar sano y dañado que las copolarizaciones HH y VV (Kovacs *et al.* 2008).

PATRONES E ÍNDICES ESPACIALES APLICADOS A MANGLARES

El análisis de patrones espaciales de coberturas y usos de suelo fue desarrollado para medir varios aspectos de la estructura y configuración de los elementos existentes en un paisaje. A partir de la teoría de islas se demostró que la reducción del área de un hábitat influye no únicamente en la composición y abundancia de especies, sino también en la colonización y reclutamiento de nuevas especies biogeográficas (MacArthur 1967, McGarigal 2002). Este marco conceptual ha sido ampliamente utilizado en estudios ecológicos enfocados a la evaluación de los patrones espaciales de los hábitats.

Actualmente el enfoque de la ecología del paisaje es una herramienta útil que permite valorar estos patrones espaciales a través de índices, algoritmos, y otros indicadores cuantitativos, que permiten determinar en forma sintética las características espaciales de parches, clases de cobertura, o el paisaje en su conjunto (McGarigal y Marks 1995).

La fragmentación y la conectividad son dos de los indicadores más utilizados para poder evaluar el estado de los hábitats naturales.

La fragmentación es el proceso en el que una cobertura, generalmente, natural y compacta va perdiendo superficie y empieza a disgregarse hasta convertirse en “islas” (o parches de diferente extensión) dentro del espacio geográfico. Este proceso de formación de fragmentos en hábitats naturales, por lo general, es producto de patrones de cambio de uso del suelo de diferente intensidad asociados a actividades antrópicas (Pronatura-Veracruz 2007). Cabe recordar que los manglares presentan una distribución naturalmente fragmentada, por lo que la evaluación de éste indicador se referirá a la producida por impacto humano.

La conectividad está directamente relacionada a la fragmentación ya que conforme el paisaje se fragmenta, la integridad del paisaje disminuye afectando su estructura. La pérdida de la conectividad es una de las mayores amenazas para la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas del paisaje. La conectividad del paisaje es una parte fundamental de las estrategias modernas de conservación de la biodiversidad y su manejo puede ser una herramienta para contrarrestar los potenciales efectos adversos de la fragmentación del hábitat (Saura *et al.* 2011). Así, los esfuerzos de conservación deben considerar la importancia de tener medidas sensibles de la conectividad del paisaje y métodos que permitan evaluar la importancia de los elementos espaciales (parches, corredores) para mantener la conectividad y reducir los problemas de fragmentación (Jordán *et al.* 2003).

En los últimos años se han desarrollado diferentes índices que permiten medir la conectividad entre los parches de hábitat. Estos índices consideran las uniones que se dan entre nodos (vértices). Los nodos representan propiamente parches de hábitat adecuado rodeados de hábitat con diferentes propiedades funcionales que pueden representar desde ambientes poco hospitalarios para las especies endémicas, o en casos extremos, para una amplia diversidad de especies silvestres (Pascual-Hortal y Saura 2006).

PARÁMETROS BIOFÍSICOS (NDVI, EVI Y LAI) Y ESTIMACIÓN DE BIOMASA VEGETAL EN MANGLARES

A nivel internacional existe una gran preocupación por el mantenimiento de las coberturas vegetales primarias, principalmente las tropicales, ya que se ha demostrado que la deforestación de éstas no sólo afecta la pérdida de servicios ecosistémicos, sino que además favorecen la emisión de gases de efecto invernadero, entre ellos el CO₂ (Parker *et al.* 2009).

En este sentido desde el 2005, en la décimo tercera Conferencia de las Partes realizada en Canadá, se comenzaron a sentar las bases para el desarrollo de un programa que favoreciera la reducción de gases de efecto invernadero por deforestación y degradación de bosques, naciendo el concepto de REDD “Reducción de las emisiones producto de la deforestación y la degradación ambiental (por su siglas en ingles REDD), que se fundamenta en la conservación (y actualmente manejo) de los bosques. Además, establece que los países que estén dispuestos y puedan reducir las emisiones de carbono provenientes de la deforestación, deben ser compensados financieramente por aquellos países que por condiciones ambientales y de desarrollo, no tienen recursos naturales suficientes para compensar sus emisiones de gases de efecto invernadero (Parker *et al.* 2009).

De acuerdo con los lineamientos establecidos en el protocolo de Kyoto, las técnicas de percepción remota puede jugar un papel fundamental a diferentes escalas espaciales y temporales, para identificar líneas base de carbono y cambios en éste a través del tiempo (Rosenqvist *et al.* 2003). En este sentido, con técnicas de percepción remota no sólo es posible identificar las coberturas vegetales y sus cambios a través del tiempo, también en cierta medida es posible identificar cambios en la condición de la vegetación a partir de parámetros biofísicos y estimar la biomasa vegetal, que está estrechamente relacionada con la acumulación de carbono por la vegetación.

Dentro de algunos parámetros biofísicos utilizados para identificar la vegetación y sus posibles cambios, se encuentran los índices de vegetación, entre los que destacan el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice Mejorado de Vegetación (EVI); estos índices se fundamentan en el contraste de la respuesta de la vegetación en las longitudes del rojo en el espectro visible y las del infrarrojo cercano, considerando que a mayor contraste mayor presencia de vegetación con mayor verdor y en buenas condiciones, al contrario si el contraste es mínimo, indica que la vegetación es senescente o se encuentra bajo algún tipo de estrés o daño (Chuvieco 2006).

El EVI también se basa en el contraste de reflectancia de las bandas del infrarrojo cercano y rojo para la identificación de la condición de la vegetación, sin embargo es un producto que incorpora el índice de resistencia atmosférica, es decir, cuenta con un efecto de estabilización de la concentración de aerosoles en la atmósfera, además de la remoción del brillo en el suelo (Solano *et al.* 2010)

A nivel global otro de los parámetros más utilizados para simular el rango de respuestas ecológicas a cambios provocados por efectos naturales o humanos, es el Índice de Área Folia (LAI), que se define como unidades de superficie de hoja por unidad de superficie de terreno, es obtenido a partir de la relación con la fracción de la radiación fotosintéticamente activa, que muestra la proporción de radiación disponible en las longitudes de onda específicas para la fotosíntesis que el dosel puede absorber (400-700 nm) (Chuvieco 2006).

Por otra parte la biomasa vegetal se define como la cantidad total de materia viva, inerte y orgánica muerta, por arriba o por debajo del suelo, expresada en toneladas de materia seca por unidad de área. En general la biomasa vegetal es convertida a carbono por la multiplicación de la fracción de carbono en términos de materia seca (Ravindranath y Ostwald 2008).

La identificación de la biomasa vegetal es uno de los principales motivos que ha favorecido la realización y actualización de inventarios de vegetación a nivel mundial, sin embargo en países tropicales debido a su diversidad vegetal, la realización de inventarios presenta un alto grado de incertidumbre, motivo por el cual al ser utilizados como insumos para la estimación de biomasa vegetal, pueden llegar a provocar sesgos en ésta (Houghton 2005). En este sentido, la detección de biomasa vegetal desde el espacio es considerada una prometedora alternativa a partir del uso de sensores remotos (Houghton 2005).

MONITOREO DE ECOSISTEMAS

La estructura, funcionamiento y permanencia de los manglares, por su condición de ambientes costeros y ecosistemas terminales de las cuencas hidrográficas, dependen en buena medida de factores externos de gran escala como las corrientes oceánicas, la conexión con el mar, el clima y los cambios en la cobertura y usos del terreno a un nivel de paisaje (Roman *et al.* 2000). De esta manera, el estudio y manejo de los manglares debe considerar las diferentes escalas espaciales y temporales en que suceden los procesos que definen su estructura y funcionamiento (Manson *et al.* 2003), así como las formas en que el hombre hace uso de ellos y de los recursos que sustentan.

La necesidad de desarrollar programas de seguimiento o monitoreo de la biodiversidad es creciente. Las presiones sobre los recursos naturales de la tierra causadas por una población humana en aumento, incrementan la participación pública y privada en el manejo y utilización de los recursos naturales. Asimismo, la rápida pérdida de especies ha creado la necesidad de un mejor entendimiento de la biodiversidad y cómo ésta cambia a través del tiempo. El monitoreo puede auxiliar en la evaluación de los diferentes enfoques de manejo existentes y sus impactos sobre los ecosistemas. El monitoreo de un ecosistema provee los datos necesarios para asegurar que los efectos del manejo estén dentro de un ámbito previamente definido, si los datos no están dentro de este ámbito, el manejo puede ser adaptado para alcanzar los resultados deseados.

Los fenómenos naturales y acciones humanas continuamente traen consigo cambios en los ecosistemas, los efectos inducidos por los humanos tienen una amplia variedad de manifestaciones que van desde la lluvia ácida hasta las rápidas alteraciones a nivel de paisaje causadas por el desarrollo. Cada vez es más claro que las especies son menos capaces de adaptarse a cambios naturales ocurridos a escalas locales o regionales cuando estos van acompañados de alteraciones humanas. Por lo anterior, el manejo apropiado de los ecosistemas requiere la habilidad de medir el impacto que estos cambios causan, pero esta información no se obtiene fácilmente, se requiere de métodos apropiados y de visión a largo plazo.

El valor de la información generada es enriquecido a través de programas de monitoreo que cubren grandes escalas tanto espaciales como temporales. Como un requerimiento mínimo, un programa de monitoreo apropiadamente diseñado debe discriminar entre cambios provocados por el hombre y fenómenos naturales para tomar la mejor decisión de manejo (Dallmeier y Comiskey 1998).

Para un monitoreo a nivel de paisaje, es necesario una base teórica y conceptual sólida para el estudio de la estructura, funcionamiento y cambios de los paisajes (McGarigal y Marks 1994). La ecología del paisaje al considerar: i) el desarrollo y la dinámica de la heterogeneidad espacial; ii) las interacciones e intercambios espaciales y temporales a través del paisaje; iii) a los paisajes como estructuras jerárquicas definidas espacial y temporalmente; y iv) al humano como elemento de los ecosistemas (Bridgewater

1993), proporciona un marco teórico en la aplicación de métodos eficientes para complementar escalas espaciales y temporales en el análisis y evaluación de los ambientes.

La evaluación de los ambientes costeros bajo esta perspectiva implica el seguimiento de la estructura y composición de éstos en intervalos amplios de tiempo y espacio. Las técnicas de percepción remota y los sistemas de información geográfica permiten dar seguimiento a patrones y procesos a un nivel de paisaje, tales como los cambios en el tamaño y forma de los hábitat costeros y de las coberturas vegetales, que pudieran tener relación con la biodiversidad y condición de los ambientes costeros (Klemas 2001).

En la mayor parte de los casos, los programas de monitoreo ecológico se han quedado en medir la calidad ambiental en el aire y el agua. En materia de humedales, los esfuerzos por marcar diferentes directrices son recientes, cambiándose del enfoque de la calidad del agua, por otro hacia la medición de la integridad ecológica de los humedales. En este sentido, MacDonald *et al.* (1991) y Roni (2005), citados por Sánchez (2007), definen varios tipos de monitoreo de humedales:

- Monitoreo Base: Caracterización preliminar para propósitos de planeación o comparación futura
- Monitoreo del estado o condición: Caracterización de la condición de los atributos físicos o biológicos en un área.
- Monitoreo de tendencia: Evaluación de cambios en la condición del ecosistema a través del tiempo
- Monitoreo de implementación: Evaluación de implementación de proyectos o acciones para saber si fueron acorde a la planeación original
- Monitoreo de la efectividad de una acción: Seguimiento de los efectos de la implementación de acciones o proyectos
- Validación: Evaluación sobre la validez de hipótesis respecto a la relación causa-efecto entre acciones de restauración y la respuesta obtenida.

El establecimiento de objetivos claros es muy importante antes de la implementación de un programa de monitoreo, así como las estrategias de elaboración de reportes y de comunicación, los cuales deberán permitir canales de retroalimentación para mejorar los procesos.

Esta capacidad de monitorear y comunicar el estado de conservación de humedales y en este caso particular de los manglares de México proporcionará un indicador de éxito del país ante la Convención de Ramsar como parte firmante del tratado internacional (Ramsar 2005a).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende a todos los parches de manglar en México mayores a una hectárea que están representados en la cartografía escala 1:50,000 publicada por la CONABIO en 2009. Se seleccionó una zona de 5 kilómetros de amortiguamiento (buffer), que junto con la superficie de manglares y algunos otros atributos asociados, conforma un área de estudio de 86,241 km², para cubrir los principales cambios de cobertura y uso de suelo de la zona costera de México (ver Figura 2.1).

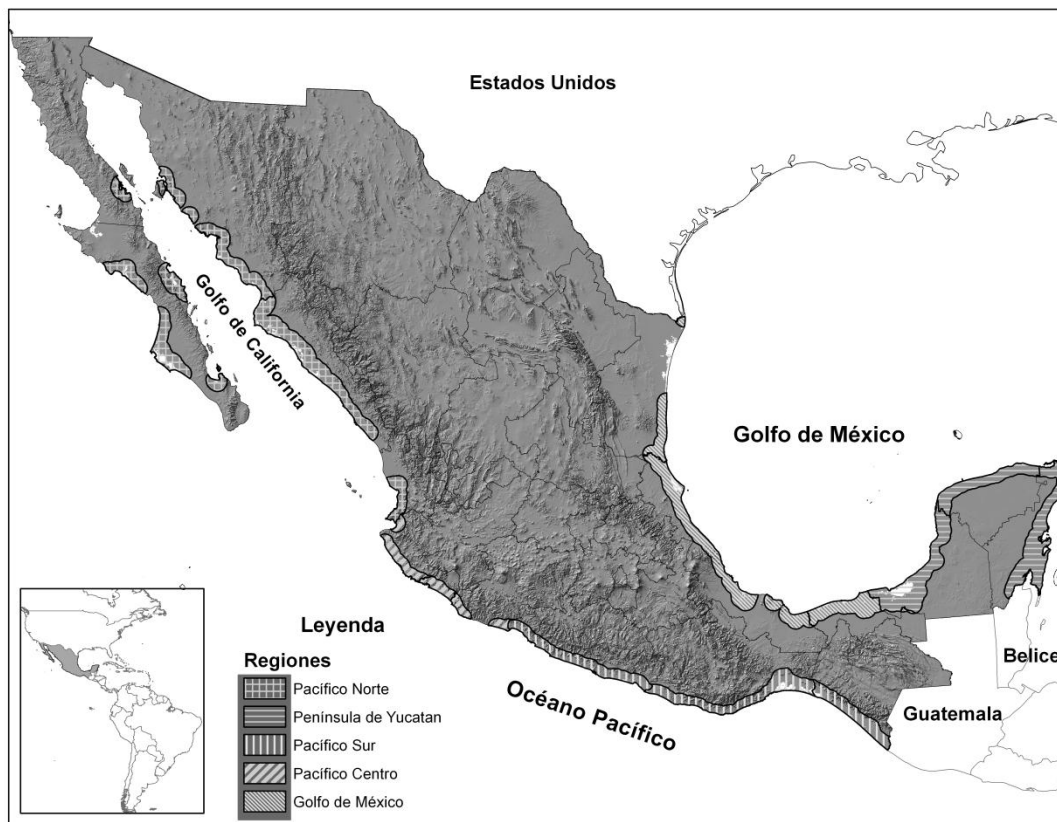


Figura 2.1. Distribución del buffer de 5 kilómetros alrededor de los manglares de México escala 1:50,000 (CONABIO 2009).

SEGUNDA ETAPA

Fuentes de información

El estudio de detección de cambios se realizó por medio de un estudio multitemporal en un periodo de análisis aproximado de 30 años, a partir de fotografías aéreas del INEGI, de la Fundación ICA, imágenes de los satélites Landsat sensor Thematic Mapper y Multispectral Scanner que estaban disponibles para la década de los setentas y ochentas e imágenes multiespectrales del satélite SPOT 5.

Para fines prácticos los productos obtenidos a partir de fotografías aéreas e imágenes Landsat serán referidos en el presente informe como “Mapas Fecha 1”. Los productos resultantes de las clasificaciones de imágenes SPOT 5 (2005 $\pm$ 2 años) serán referidos como “Mapas Fecha 2”.

Las imágenes SPOT utilizadas para realizar el mapa de distribución de manglares, que son las mismas que se utilizaron para hacer los mapas de la Fecha 2, se obtuvieron de la Estación de Recepción México de la Constelación SPOT (ERMEXS) operada por la SEMAR, SAGARPA-ASERCA-SIAP e INEGI. En total, se utilizaron 134 imágenes del satélite SPOT-5 (10 m de resolución espacial), el 82% de las imágenes fueron tomadas en los años 2005 y 2006, el resto son del periodo 2003-2007. Las imágenes SPOT fueron preprocesadas como se describe en la primera etapa del proyecto “*Los manglares de México: estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo*” que realizó la CONABIO (Acosta-Velázquez *et al.* 2007).

Las fotografías utilizadas corresponden a los vuelos denominados SINFA (Sistema Nacional de Fotografías Aéreas) del INEGI, con escalas fotográficas de 1:50,000, 1:70,000 y 1:80,000, corresponden a las décadas 1970 y 1980 y cubren el área de estudio del presente trabajo. Estas fotografías aéreas están en blanco y negro y se encontraban en formato analógico, por lo que se tuvieron que digitalizar a través de un escáner marca Epson, modelo Perfection 2480 (Resolución: 300 ppp). También se utilizaron fotos de la Fundación ICA, las cuales se encontraban en diferentes escalas. A pesar de contar con diferentes escalas para la elaboración del Mapa Fecha 1, el método empleado para la elaboración de este mapa (método interdependiente de interpretación retrospectiva), minimiza el efecto de la utilización de diferentes fuentes de información básica.

Estas fotografías se georreferenciaron tomando como base las ortofotos digitales de la década de 1990 producidas por el INEGI. Se utilizó un polinomio de segundo grado, el máximo error medio cuadrático que se obtuvo fue de 10 metros. Este procedimiento se realizó en la CONABIO y para algunos estados lo realizó el personal del INEGI. La georreferenciación fue contrastada con la imagen SPOT correspondiente, de las utilizadas en la obtención del mapa de la Fecha 2 (2005). Cabe señalar que en la medida de lo posible se trabajó sólo con la parte menos deformada de las fotografías es decir la zona central.

Las imágenes Landsat-MSS (57 metros de resolución) y Landsat-TM (30 metros de resolución) fueron utilizadas cuando no existía cobertura de fotos aéreas del INEGI en el área de estudio. Fueron obtenidas de la base de datos de CONABIO o descargadas gratuitamente desde internet del portal *Global Land Cover Facility* perteneciente a la Universidad de Maryland. Estas imágenes fueron georreferenciadas tomando como base las imágenes SPOT-5 utilizadas en la primera etapa del proyecto.

Las imágenes de satélite SPOT, las imágenes Landsat y las fotografías aéreas, se trabajaron con el sistema de proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), utilizando el elipsoide y Datum WGS84.

Estimación de cambios e identificación de los principales agentes de transformación de los manglares de México

El análisis de la pérdida de cobertura forestal, se efectúa a través de la clasificación de imágenes de satélite o fotografías aéreas de diferentes fechas. El proceso de clasificación que conlleva el análisis de cambios, por lo regular, se puede realizar por medio de dos enfoques metodológicos, el independiente y el interdependiente. En el método independiente, la clasificación de las imágenes o fotografías aéreas se realiza de forma separada. Este procedimiento generalmente produce mapas temáticos con errores de clasificación y localización, generando frecuentemente cambios falsos entre clases, al momento de su análisis espacial.

En el método interdependiente (FAO 1996, Díaz-Gallegos y Acosta-Velázquez 2009), se lleva a cabo la clasificación de las imágenes de satélite o fotografías aéreas que conforman una de las fechas, esto permite generar el mapa temático base o de referencia. Posteriormente se realiza una sobreposición del mapa temático elaborado previamente, sobre las imágenes de satélite o fotografías aéreas de la fecha restante, y se realizan las modificaciones pertinentes de la distribución de las clases cartografiadas, considerando la información de las imágenes de satélite o las fotografías aéreas de la otra fecha. Cuando son más de 2 fechas, este proceso se realiza tomando como mapa base, el mapa temático con la fecha más cercana a las imágenes o fotografías que se deseen trabajar, lo que reduce el esfuerzo de trabajo.

Este enfoque metodológico es posible realizarlo en retrospectiva, es decir llevando a cabo la modificación del mapa temático más antiguo (mapa 1), usando como mapa de referencia el más reciente (mapa 2). Lo anterior reduce los errores de clasificación que conllevan los métodos independientes; además, reduce el tiempo de clasificación, ya que en general los paisajes tienden a presentar menos fragmentos de cada una de las clases, entre más antiguas sean las fechas que se van a cartografiar, porque se considera que hay menos transformación antrópica de la vegetación, salvo algunas excepciones. En el método interdependiente, la elaboración del mapa temático de referencia, se lleva a cabo considerando las imágenes o fotografías aéreas que tienen la mayor resolución espacial y espectral de todas las fechas a cartografiar, ya que permite una mejor delimitación de las clases a cartografiar.

En general, el método interdependiente demanda un poco más de tiempo, en comparación con clasificaciones digitales independientes considerando imágenes de satélite en la otra fecha. Sin embargo, cuando se usan fotografías aéreas, el método interdependiente resulta más sencillo, ya que no se realiza la fotointerpretación convencional de todas las clases del mapa con el enfoque independiente. Por otra parte, está documentado que este método reduce significativamente los errores de clasificación y localización, evitando falsos cambios entre clases durante el análisis espacial (FAO 1996, Mas *et al.* 2004, Díaz-Gallegos y Acosta-Velázquez 2009).

En el contexto de este proyecto, primero se llevó a cabo la elaboración del mapa temático de 2005 con imágenes SPOT. Posteriormente las clasificaciones de las imágenes SPOT se usaron como mapa temático de referencia (Mapa 2 - 2005) y se superpusieron a las fotografías aéreas de 1970-1980 para generar el mapa temático de esta fecha (Mapa 1 -1970-1980).

Elaboración del mapa de la Fecha2 de los manglares de México y coberturas circundantes

El mapa de distribución de los manglares de México y de las coberturas circundantes para el 2005, fue elaborado con las imágenes SPOT-5 descritas anteriormente. Como parte de la segunda etapa se realizó la clasificación de las coberturas terrestres que rodean al manglar. Se utilizaron escenas y subescenas de las imágenes SPOT, por región y zona UTM, las cuales se acotaron de acuerdo con la delimitación del área de estudio.

En los estudios del paisaje, existen discrepancias en la delimitación de los sitios que deben analizarse, debido a que es difícil integrar criterios que permitan discernir su circunscripción. En este caso, la delimitación de las áreas de estudio seleccionadas en esta segunda etapa se realizó tomando en cuenta cinco criterios de forma jerárquica:

- Cinco km de *buffer* con relación a la distribución de los manglares en el año 2005 (CONABIO 2009).
- Sitios de manglar de relevancia biológica y de rehabilitación ecológica (CONABIO 2009).
- Área Natural Protegida (CONANP 2008a)
- Sitios Ramsar (CONANP 2008b)

- Modelo Digital de Terreno (MDT) (CONABIO 2005)
- Cobertura de manglar INEGI (serie I)

Se procedió a generar un área de amortiguamiento (*Buffer*) de 5 km, tomando como referencia la distribución de manglares en el país (CONABIO 2009); este criterio se complementó con los "Sitios de manglar de relevancia biológica y de rehabilitación ecológica (CONABIO 2009); se utilizaron también las poligonales de las Áreas Naturales Protegidas federales, porque pueden ser consideradas como una unidad administrativa de análisis de paisaje, en la que se ejecutan muchos proyectos de manejo y conservación de recursos naturales, siempre y cuando la superficie del ANP fuera mayor al 80%, respecto a la distribución del manglar; con este mismo criterio también se incluyeron los Sitios Ramsar, el modelo digital de terreno se utilizó para eliminar zonas montañosas y finalmente también se incluyó como un criterio para la delimitación de la zona de estudio la distribución de manglares "históricos" en la cartografía elaborada por el INEGI en la serie I.

En la definición de estos sitios no se utilizaron límites naturales, debido a la gran heterogeneidad ambiental que presentan las diferentes regiones del país. Consideramos que los criterios anteriormente mencionados fueron los más prácticos.

Debido a que las imágenes de satélite fueron de fechas y épocas del año diferentes, las escenas se procesaron y clasificaron por separado, para evitar sesgos en la clasificación provocados por la diferencia estacional y espectral de las mismas.

Para generar el mapa de la Fecha 2 se trabajó en el programa Erdas 9.1, se procedió a aplicar una clasificación digital con métodos no supervisados, usando el algoritmo iterativo "ISODATA" sobre las escenas de las imágenes SPOT (*Leyca geosystems* 2003).

Las clasificaciones digitales se revisaron detalladamente en pantalla para identificar confusiones espectrales existentes entre las clases mapeadas. Después, se redefinieron los límites espaciales de las clases que presentaban confusión espectral, con el fin de tener una mejor delimitación de las categorías del mapa de la Fecha 2 en cada uno de los sitios. Este procedimiento consistió en revisar y corregir, por interpretación visual en pantalla, las zonas de confusión espectral entre clases. Los píxeles se reclasificaron en las áreas con confusión espectral entre clases, utilizando como herramienta auxiliar las regiones con crecimiento espectral homogéneo (*Region Growing Properties*) disponible en Erdas Imagine 9.1.

Posteriormente se elaboraron mosaicos de las clasificaciones digitales para cada uno de los estados, usando también el programa Erdas 9.1.

Es importante mencionar que la clase "manglar", fue extraída del mapa de distribución de los manglares de México escala 1:50,000 (CONABIO 2009) y utilizada como máscara en las clasificaciones de cada sitio. Esto se hizo porque las áreas de manglares ya habían sido previamente clasificadas con las mismas imágenes SPOT empleadas en este estudio, y utilizando el mismo método de clasificación. Asimismo, se hizo una revisión detallada de esta clase, usando las fotografías aéreas panorámicas y verticales (diferentes a las empleadas en el proceso de validación), tomadas durante los vuelos realizados en 2008 para la validación del mapa de manglar (Acosta-Velázquez *et al.* 2009). Además, se usaron otras bases de datos cartográficas de uso del suelo y tipos de vegetación como fuentes de información de apoyo (Series I, II y III de INEGI, INF 2000, entre otras) para la verificación y corrección de los resultados de la clasificación de las imágenes de satélite.

Por otro lado, la clase "Desarrollo Antrópico" fue digitalizada manualmente por interpretación visual en pantalla. La delimitación de esta clase, se realizó con el apoyo de las bases de datos mencionadas anteriormente, entre ellas las del INEGI. Esta información sirvió como dato auxiliar y quedó incorporada

como máscara en las clasificaciones de cada sitio, considerándose como una clase más en el mapa de 2005.

Durante el proceso de clasificación digital de las imágenes SPOT, se utilizó un sistema de clasificación que corresponde a nueve clases de usos del suelo y tipos de vegetación (Tabla 2.1). La definición e integración de este sistema de clasificación se derivó de una revisión bibliográfica sobre sistemas de clasificación en zonas costeras y de otras bases de datos cartográficas de uso del suelo y tipos de vegetación disponibles a nivel nacional (INE 1997, INEGI 2005, Guerra y Ochoa 2006).

La exactitud del mapa resultante se evaluó con una matriz de error y con los coeficientes de exactitud global y de Kappa (Congalton y Green 1999). Los datos de referencia se obtuvieron con recorridos aéreos asistidos con una cámara digital sincronizada a un GPS y montada en el pedal de un helicóptero de la Secretaría de Marina. En cada región se aplicó un muestreo sistemático tomando en cuenta la distribución del manglar y áreas circundantes de 200 m. Las líneas de vuelo para la toma de registros de campo se realizaron en forma de zigzag y paralelas a la línea de costa, dependiendo de la conformación de la cobertura de manglar. En cada uno de los vuelos se contó con la participación de un especialista de manglares de la región.

Tabla 2.1. Sistema de clasificación utilizado en el procesamiento digital de las imágenes satelitales.

ID	Clase	Descripción
1	Desarrollo antrópico ¹	Incluye poblados, estanques acuícolas, granjas camaroneras, salineras, caminos y carreteras, así como obras de infraestructura hidráulica que incluye canales.
2	Agrícola-Pecuaria	Incluye las tierras utilizadas para agricultura de temporal, riego y los pastizales dedicados a la actividad pecuaria. Esta categoría corresponde a coberturas antrópicas destinadas a la producción de alimento, así como los monocultivos perennes arbolados propios de cada región, y otros agroecosistemas. Incluye áreas agrícolas en descanso.
3	Otra vegetación	Incluye la vegetación arbustiva y arbórea de selvas bajas perennifolias y subperennifolias inundables y selva mediana subperennifolia inundables, diferentes tipos de vegetación secundaria arbórea y arbustiva y la vegetación secundaria herbácea.
4	Sin vegetación	Incluye las áreas sin vegetación aparente y con erosión, dunas costeras de arena y playas.
5	Manglar	Incluye humedales arbustivos y arbóreos conformados por la asociación vegetal de una o más especies de mangle: mangle blanco (<i>Laguncularia racemosa</i>), mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>), mangle negro (<i>Avicennia germinans</i>) y mangle botoncillo (<i>Conocarpus erectus</i>).
6	Manglar perturbado	Incluye humedales conformados por parches de árboles y/o arbustos de manglar muerto o en regeneración. Esta categoría se refiere a la cubierta forestal perturbada por huracanes, tormentas, ciclones y por la construcción de infraestructura hidráulica, carreteras y caminos.
7	Otros humedales	Incluye la vegetación hidrófita de Popal-Tular-Carrizal ² , además de pastizales inundables, vegetación hidrófita o halófila con individuos de mangle dispersos o en pequeños islotes y los terrenos salinos costeros con poca cubierta vegetal.
8	Cuerpos de agua	Incluye océanos, bahías, esteros, lagunas, ríos, presas, cenotes, aguadas.
9	Otros	Se refiere a la cobertura de nubes y la sombra derivada de las mismas

Notas: 1. Esta clase se digitalizó en pantalla con interpretación visual y con ayuda de otras fuentes (INEGI 2001, INEGI 2005).

2 Popal. Vegetación herbácea enraizada que se desarrolla en lugares pantanosos de las planicies costeras con agua permanente. Las principales especies que lo conforman son: *Calathea sp.*, *Thaliageniculata*, *Heliconia spp.*, *Leersia sp.*, *Paspalum spp.*, *Panicum spp.* y *Cyperus spp.*, entre otros.

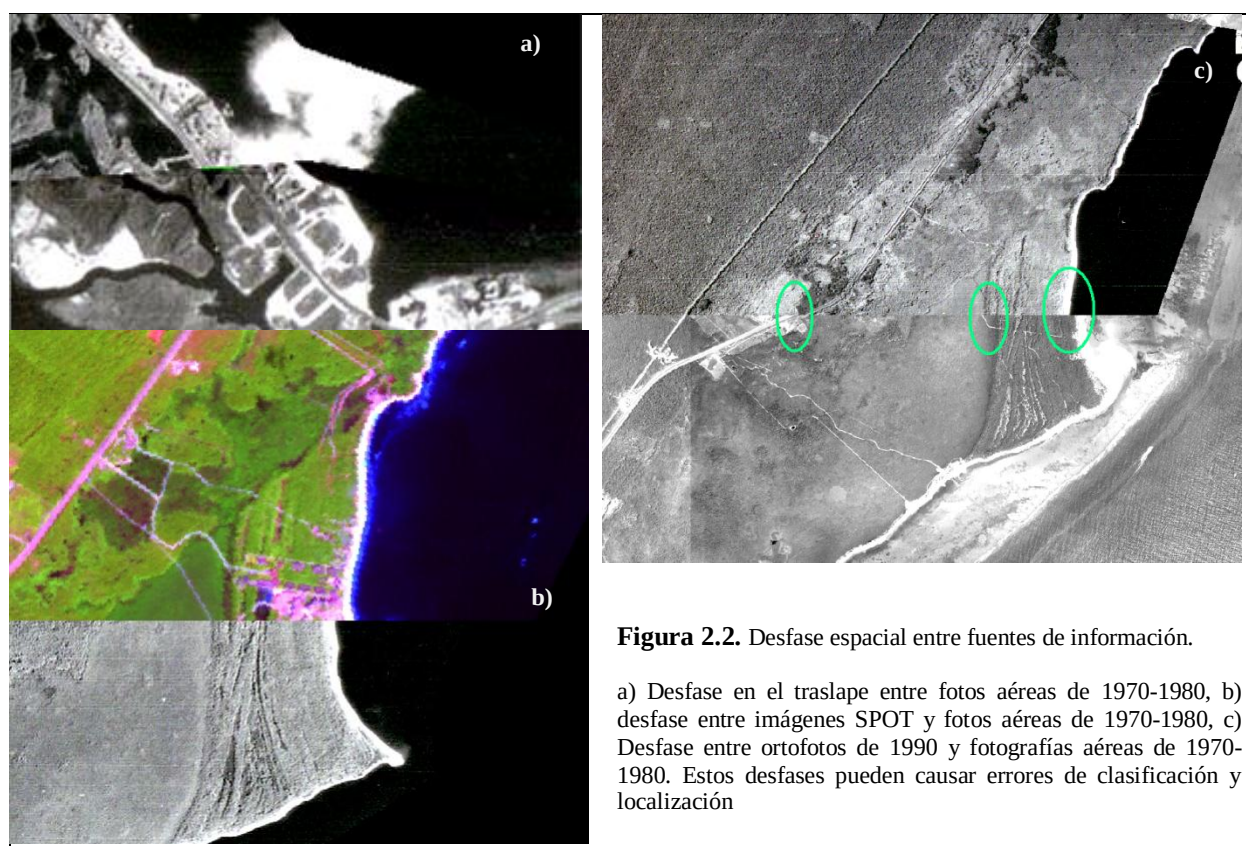
Tular. Asociación vegetal de plantas herbáceas enraizadas sobre terrenos pantanosos, en orillas de lagos, lagunas y otros cuerpos de agua. Sus componentes tienen hojas alargadas y angostas o carecen de ellas. Se les conoce como tules y pertenecen principalmente a los géneros *Typha spp.*, *Scirpus spp.*, y *Cyperus spp.*

Carrizal. Esta comunidad vegetal se desarrolla sobre áreas pantanosas y está compuesta de plantas enraizadas que incluyen los llamados "carrizales" de *Phragmites communis* y *Arundo donax* y los "saibadales" de *Cladium jamaicense*, principalmente.

Elaboración del mapa de la Fecha 1 (1970-1980) de los manglares de México y coberturas circundantes a través del método interdependiente

El mapa de distribución de los manglares y coberturas aledañas de la década de 1970-1980, se generó a través del método interdependiente en retrospectiva, utilizando la clasificación de los manglares derivado de las imágenes SPOT de 2005 como mapa temático base.

Inicialmente se realizaron superposiciones de las escenas de las imágenes SPOT de 2005, las fotografías aéreas de 1970-1980 y las ortofotos de la década de 1990 de INEGI para detectar desfases entre las fuentes de información. En los casos en que se encontraron desfases, se procedió a realizar una corrección geométrica para lograr un mejor ajuste de las fotografías aéreas, usando entre 15 y 20 puntos de control, los cuales se tomaron de las imágenes SPOT (Figura 2.2). No se elaboraron mosaicos de las fotografías por la calidad del material fotográfico y el proceso de escaneo, que dificulta su fotointerpretación en pantalla al modificar las características de tono, textura, y brillo de los mosaicos elaborados.



El proceso de interpretación de las fotografías aéreas consiste en sobreponer y reclasificar una copia del mapa temático de 2005 en formato *raster*, sobre fotografías aéreas preprocesadas. Posteriormente se llevó a cabo una revisión detallada horizontal y vertical de cada fotografía, usando diferentes ventanas de acercamiento (zoom), con el fin de identificar mejor las áreas que necesitan ser reclasificadas, de acuerdo con lo que se observaba en las fotografías aéreas (Figura 2.3).

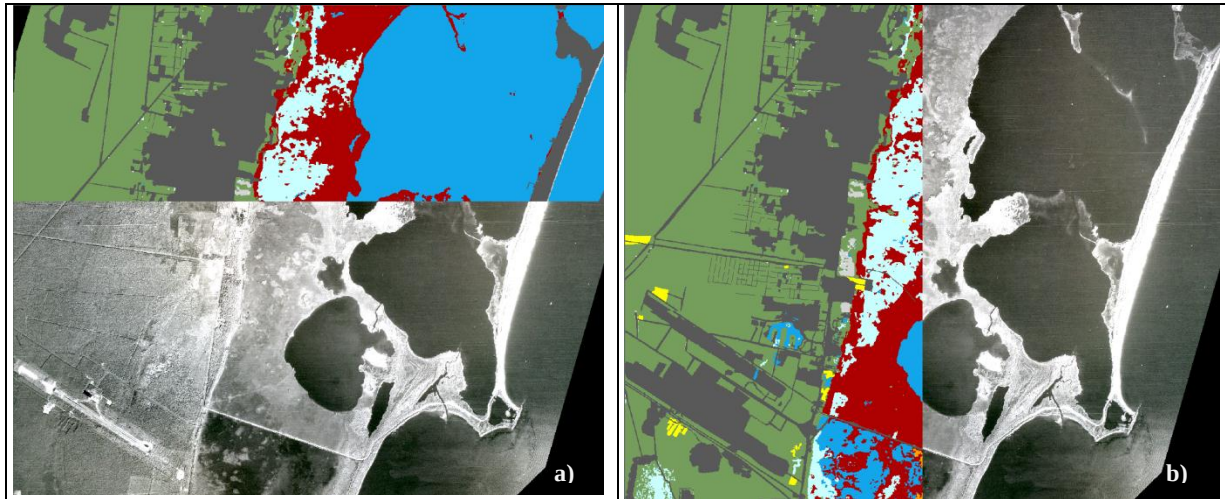
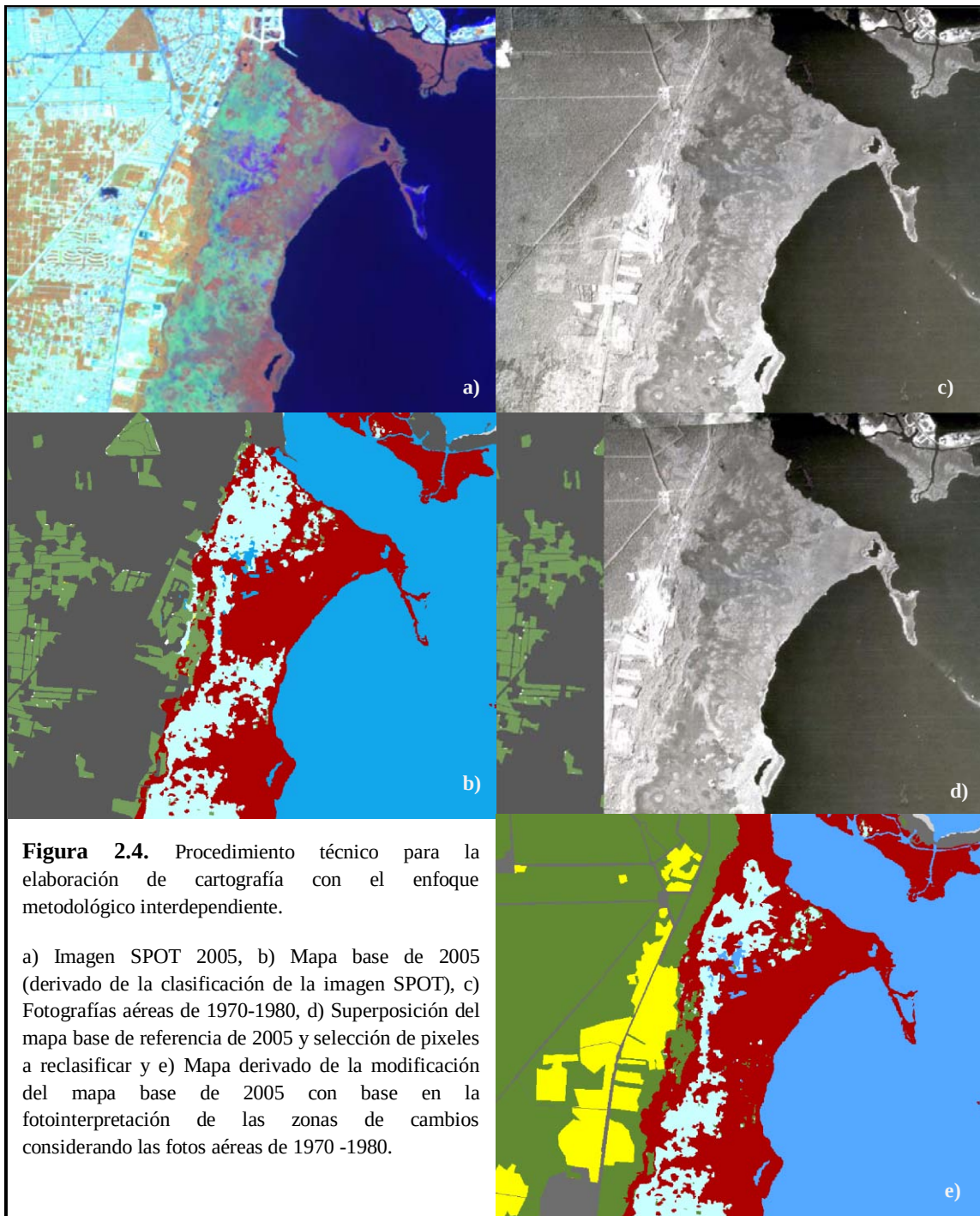


Figura 2.3. Revisión horizontal y vertical de fotografía aérea.

En pantalla se revisó cada fotografía con detalle antes y durante la elaboración de la cartografía de 1970 y 1980, tomando en cuenta el mapa base de 2005. a) Revisión vertical, b) Revisión horizontal. Esta revisión se hizo con diferentes acercamientos (*zoom*).

A partir de la revisión de las fotografías históricas e identificación de los cambios, de al menos tres píxeles en cualquiera de las clases, se procedió a recodificar a la clase correspondiente mediante la creación de un área de interés (AOI, por sus siglas en inglés), definida conforme a la fotointerpretación visual (Figura 2.4) o mediante la generación de regiones con crecimiento espectral homogéneo. Este procedimiento permitió la modificación de cada una de las clases cartografiadas en el mapa de 2005, las cuales se modificaron y se transformaron en el mapa Fecha 1. Todos los procedimientos antes descritos, se realizaron utilizando el programa Erdas Imagine 9.1. En el caso del personal del INEGI, utilizaron ArcMap, que cuenta con herramientas suficientes para generar resultados similares a los obtenidos con el primer programa.

Para la obtención del mapa Fecha 1 de los estados de Sonora, Sinaloa, Nayarit, Colima, Jalisco, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Tamaulipas y Veracruz, se contó con la participación de personal del INEGI. Para disminuir las diferencias en los resultados por los métodos empleados, se procedió a desarrollar protocolos documentados, que fueron seguidos por el personal del INEGI y la CONABIO, manteniendo una comunicación constante durante todo el trabajo.



Detección de los procesos de cambios en los manglares de México

Los mapas temáticos resultantes se superpusieron para generar matrices de detección de cambios. Cada matriz contiene información del cambio de una clase a otra y su arreglo posibilita el cálculo del cambio en conjunto y por clases en los mapas que se están evaluando. Los datos en la diagonal representan la superficie sin cambio en el tiempo, mientras los datos fuera de la diagonal representan los cambios de una clase a otra como ganancia o pérdida.

A partir de los datos de la matriz de detección de cambios, se calcularon dos indicadores de cambio (Ramsey III *et al.* 2001): la estabilidad de localización y la residencia. La estabilidad de localización es el porcentaje de una clase que permanece como la misma clase en la misma ubicación al inicio y final del periodo de cambio, y tiene un intervalo de cero a 100. El límite inferior denota la pérdida total de esa clase dentro del paisaje, en tanto que el límite superior implicaría que la clase no presentó pérdida.

La **estabilidad de localización (EL)** se define:

$$EL \text{ (por clase)} = [(cobertura \text{ año inicial} - pérdida cobertura del año inicial)] \times 100 / cobertura \text{ año inicial}$$

Donde la “pérdida cobertura del año inicial”, se refiere a la suma de la superficie de cada clase, que cambia a otra cobertura entre el inicio y el final del periodo de estudio.

La **estabilidad de residencia (ER)** es el porcentaje de cambio en cada clase dentro del área de estudio durante el periodo de seguimiento. Los valores de cero de una clase dada, indican que no hay cambio neto en el área total de cobertura en el periodo de seguimiento. Los valores positivos, en cambio, indican un incremento en la cobertura de una clase dada en relación con el año inicial. La fórmula para calcular la estabilidad de residencia (ER) es:

$$ER \text{ (por clase)} = [(cobertura \text{ año final} - cobertura \text{ año inicial})] \times 100 / cobertura \text{ año inicial}$$

Con los datos de cobertura inicial y final de cada clase fue posible establecer la **tasa de cambio (r)** de cada una de las coberturas con la fórmula propuesta por Puyravaud (2003):

$$r = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{A_2}{A_1}$$

Donde:

r = Cambio de cobertura, considerada como el remplazo de la cobertura por cualquier otra.

A_1 = Área de la cobertura en la primera fecha

A_2 = Área de la cobertura en la segunda fecha

t_1 = Fecha de la primera evaluación

t_2 = Fecha de la segunda evaluación

$\ln$ = Logaritmo natural

Esta fórmula es derivada del concepto y la fórmula general de interés compuesto, un modelo de decaimiento exponencial que considera que el incremento relativo anual del cambio de cobertura, está en función de la magnitud del cambio de la cobertura del año previo. Esta consideración no se toma en cuenta en funciones matemáticas más simples, como las denominadas de interés simple, por lo que su uso resulta en subestimaciones de la magnitud del cambio de la cobertura (Mendoza 1997).

Para generar los mapas estatales de la Fecha 1 se utilizaron, en diversos casos, fotos e imágenes Landsat de diferentes años (ver Figuras 2.5-2.7), haciendo que en algunos casos la variabilidad de fechas fuera muy alta. Por esta razón, las tasas de transformación obtenidas, fueron ponderadas respecto a la superficie cubierta por las fechas de los insumos empleados para cada estado.

A nivel estatal y nacional, se estimó una tasa de cambio para cada uno de los periodos de tiempo presentes (fechas de las fotografías e imágenes), para cada clase de acuerdo con la fórmula propuesta por Puyravaud (2003). Cada tasa de cambio estimada por periodo, se multiplicó por la proporción de área que

corresponde a cada fecha con respecto a la superficie total de cada clase. La tasa de transformación se calculó sumando las tasas ponderadas parciales para cada clase.

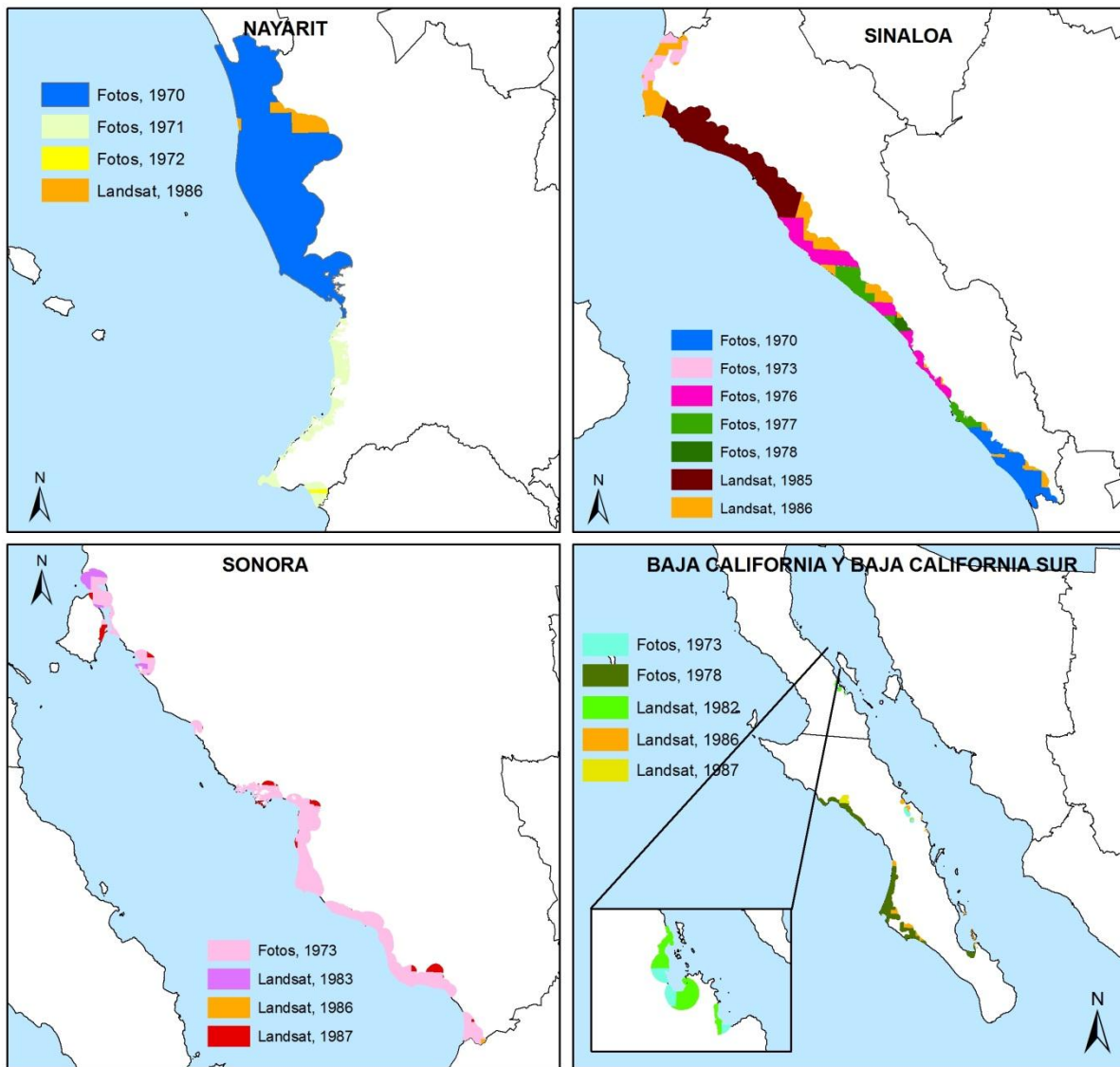


Figura 2.5. Fecha de fotografías aéreas e imágenes Landsat utilizadas para la elaboración del mapa: Fecha 1 (década 1970-1980) en la región Pacífico Norte.

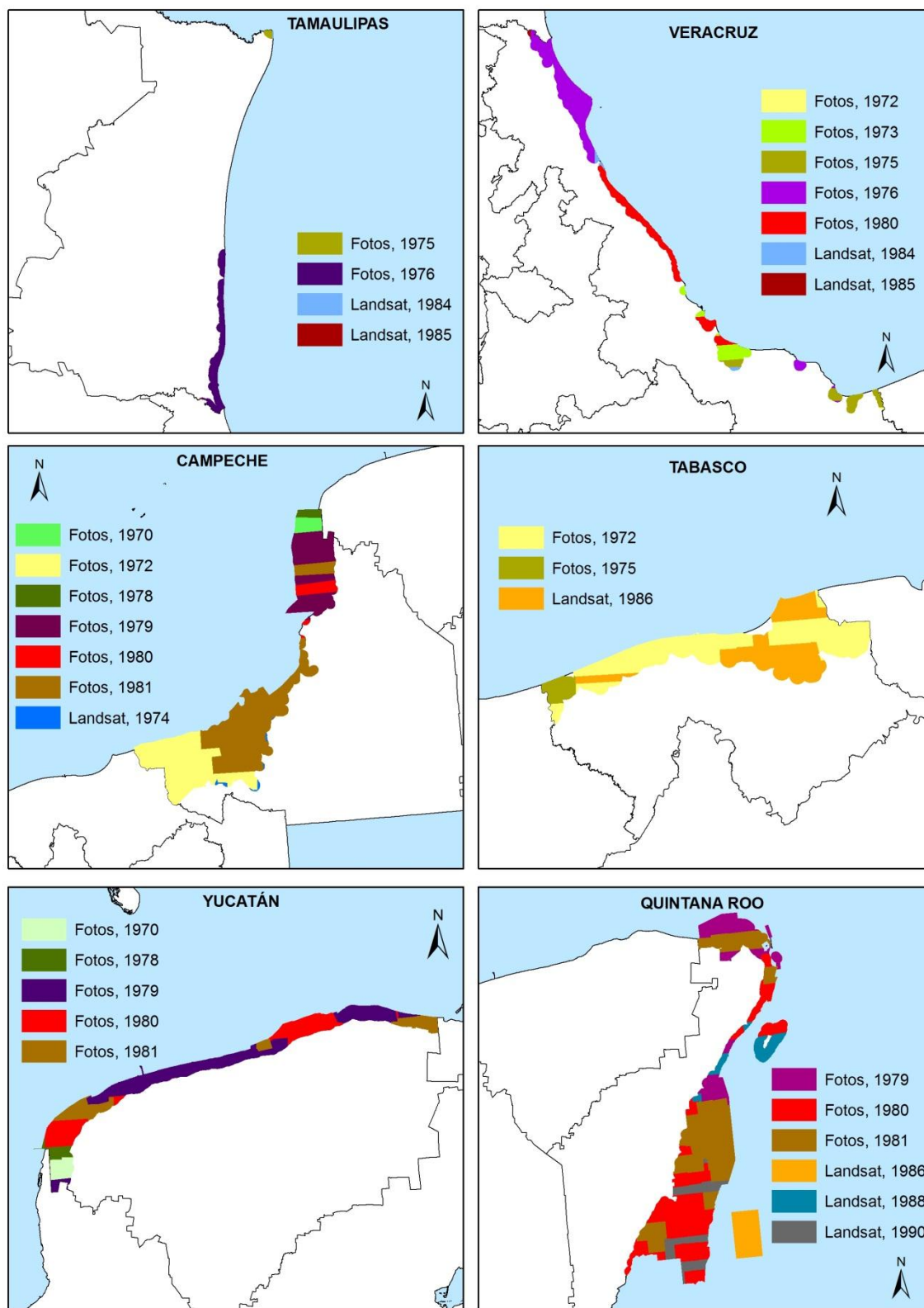


Figura 2.6. Fecha de fotografías aéreas e imágenes Landsat utilizadas para la elaboración del mapa: Fecha 1 (década 1970-1980) en las regiones Golfo de México y Península de Yucatán.

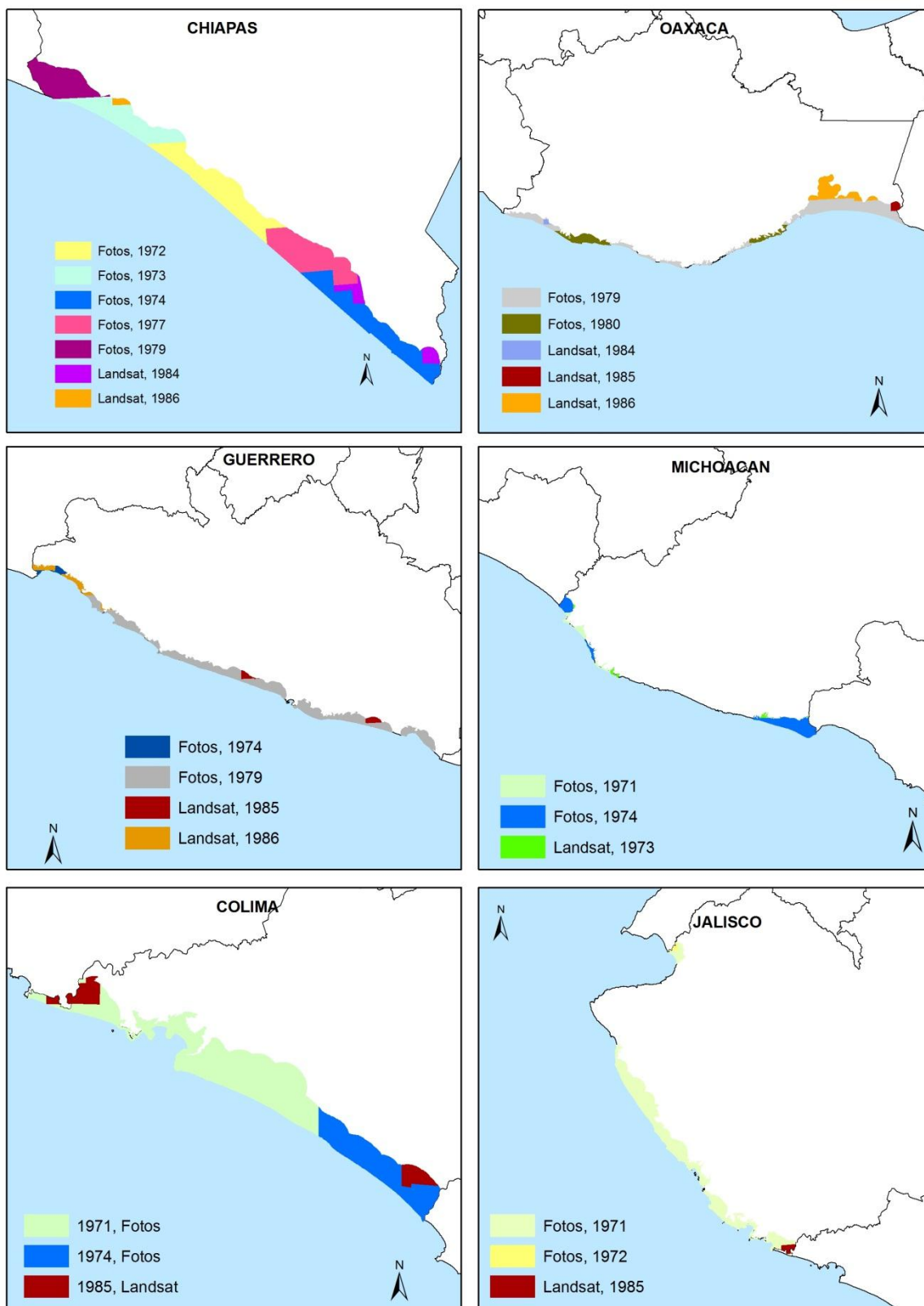


Figura 2.7. Fecha de fotografías aéreas e imágenes Landsat utilizadas para la elaboración del mapa: Fecha 1 (década 1970-1980) en las regiones Pacífico Centro y Pacífico Sur.

De esta manera se obtuvieron tasas de transformación para cada año por cada categoría y se ponderó de acuerdo con su superficie relativa en el total del área de estudio para cada estado. Finalmente para presentar la tasa de transformación se realizó una suma algebraica de las tasas de transformación ponderadas de cada año por categoría y por estado.

Patrones e índices espaciales

La caracterización de los patrones espaciales de la cobertura de los manglares en dos fechas de análisis de los 17 estados costeros se estimó con diferentes índices de paisaje que se describen a continuación:

Parches

- (a) **Área total de clase manglar (AT):** Este índice evalúa cuánto del paisaje está representado por una clase particular (ejem. manglar). Además de la interpretación directa del valor, el área total de la clase es usada para el cálculo de otras métricas de clase y paisaje.

$$AT = \sum_{j=1}^a a_j \left(\frac{1}{10,000} \right)$$

Donde:

a_j : Área del parche j (m^2)

Unidades:

hectárea

- (b) **Número de Parches (NP):** Indica el número de parches correspondiente a la clase definida (ejem. manglar). También puede utilizarse como un indicativo de la fragmentación de la clase.

$$NP = n_i$$

Donde:

n_i : Número de parches en el paisaje de la clase i

Unidades:

Ninguna

- (c) **Índice del parche mayor (IPM):** Es el porcentaje del paisaje que ocupa el parche de mayor área. Como tal, es una medida de dominancia.

$$IPM = \frac{\max_{j=1} (a_j)}{A} (100)$$

Donde:

a_j : Área del parche j (m^2)

A : Área total del paisaje (m^2)

Unidad:

Porcentaje

(d) **Área promedio de los parches (AP):** Promedio del tamaño de los parches de una clase.

$$AP = \frac{\sum_{j=1}^n a_j}{A_c}$$

Donde:

a_j : Área del parche j

A_c : Área total de la clase

Unidad:

hectárea

La estimación de estos atributos e índices de paisaje que describen la dinámica de parches (AT, NP, IPM) y fragmentación (AP) se llevó a cabo utilizando el programa ArcMap y su extensión Patch Analyst (Rempel *et al.* 2008). Los algoritmos utilizados se basan en las ecuaciones descritas por McGarigal y Marks (1995) en el programa Fragstats 3.3, *Spatial Pattern Program for Quantifying Landscape Structure*.

El atributo de área de cada parche es una de las piezas más importantes de información contenida en el paisaje (McGarigal y Marks 1995) a partir del que se pueden derivar otros índices y medidas espaciales. El tamaño de parche también es un valor de gran utilidad en ecología. Por ejemplo, la riqueza, ocurrencia y la abundancia de ciertas especies de aves están fuertemente correlacionadas con el tamaño de parche (Kurtis *et al.* 1999). En este sentido, se evaluaron las diferencias entre las fechas de análisis en las superficies de los parches utilizando la prueba de Mann-Whitney porque los datos (área de parche) no presentaban una distribución normal (Southworth *et al.* 2004). Los análisis estadísticos se evaluaron mediante el programa STATISTICS 7.

Relaciones de Borde

Se parte de la premisa de que las condiciones de vecindad de cada polígono de la clase de interés, aporta información relevante en el estudio de las principales amenazas y de la dinámica de cambios. En este sentido, la obtención de las relaciones de borde puede proporcionar una base para plantear escenarios futuros de cambio.

Los parches de manglar que colindaban con clases antrópicas se definieron como sitios con alta posibilidad de desaparecer o de modificarse en un mediano plazo, tanto por la sustitución directa como por los efectos de la contaminación y alteración de patrones hidrológicos.

Para evaluar esta situación en el área de estudio, se usaron dos índices de frontera (IA_L e IA_S):

- (e) **Índice de amenaza/integridad por longitud de frontera compartida con clases antrópicas (IA_L):** Es la proporción de longitud de frontera o perímetro del manglar compartido con clases de cobertura terrestre de naturaleza antrópica.

$$IA_L = \frac{LTC_i}{LT}$$

Donde

IA_L : Índice de amenaza/ integridad de la clase manglar por longitud de frontera respecto a actividades antrópicas (agropecuarias y zonas urbanas).

LTc_i : Longitud total de frontera compartida de las clase manglar con las clases de actividades antrópicas

LT : Longitud total de frontera de la clase manglar compartida con todas las clases (antrópicas y naturales)

Unidad:

Porcentaje

- (f) **Índice de amenaza/integridad por superficie de clases antrópicas adyacentes (IA_S):** Es la proporción de superficie de los parches de naturaleza antrópica en frontera común con los parches de manglar, respecto al total de áreas vecinas de las otras clases.

$$IA_S = \frac{STc_i}{ST}$$

Donde:

IA_S : Índice de amenaza/ integridad al manglar por superficie de actividades antrópicas (agropecuaria y zonas urbanas), adyacentes a la clase manglar.

STc_i : Superficie total de las clases de actividades antrópicas en frontera compartida de manglar.

ST : Superficie total de parches de todas las clases en frontera compartida con la clase manglar.

Unidad:

Porcentaje

La evaluación del primer índice permitirá establecer la proporción de clases vecinas al manglar en cuanto a su frontera/borde compartido, y estimar un nivel de amenaza a mediano plazo, dado por la predominancia o no de bordes con clases de naturaleza antrópica o naturales.

Por otro lado, la estimación del segundo índice permitirá establecer la proporción de amenaza al manglar según la superficie de clases vecinas que tengan alguna actividad antrópica (agropecuaria y zonas urbanas).

Fragmentación

- (g) **Dispersión de parches (R_c):** Es una métrica del paisaje que a partir de la distancia entre parches cercanos determina la dispersión de los mismos. También determina si los parches tienen una distribución al azar ($R_c=1$), agregada ($R_c < 1$) o regular ($R_c > 1$) (Pielou, 1977).

$$R_c = 2d_c(\lambda/\pi)$$

Donde:

R_c : Dispersión de parches

d_c : Distancia media desde un parche (su centroide) hasta el parche más cercano

λ : Densidad media de parches (número de parches por cada 100 hectáreas)

Unidad:*Adimensional*

- (h) **Índice de Fragmentación (IF):** Es una métrica del paisaje basada en la relación de tamaño, número y la dispersión de parches (Forman 1995). La ecuación utilizada para el cálculo de la fragmentación proviene de Pielou (1977, citado por Forman y Godron 1986):

$$IF = \frac{A_h}{N \times R_c}$$

Donde:*IF: Fragmentación del hábitat**A_h: Superficie total del hábitat**N: Número de parches del hábitat**R_c: Dispersión de parches (R_c) = 2d_c (λ/π)***Unidades:***Adimensional*

Este índice de fragmentación es inversamente proporcional al grado de fragmentación de la clase (Gurrutxaga 2003).

Conectividad

- (i) **Índice Integral de conectividad (IIC):** Es una métrica del paisaje que acumula todas las propiedades de un índice ideal (Pascual-Hortal y Saura 2006). El índice supone que la conectividad debe ser considerada dentro del más amplio concepto de la disponibilidad de hábitat, que considera cada parche como un espacio en donde existe conectividad. Este índice integra la extensión del hábitat y conectividad entre parches de hábitat y es lo suficientemente general para ser aplicado a cualquier paisaje. La fórmula empleada es la siguiente:

$$IIC = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{a_k \cdot a_l}{1 + nl_{kl}}}{A_L^2}$$

Donde:*n: Total de número de nodos en el paisaje**a_k, a_l: Atributos de los nodos "k" y "l" (área)**nl_{kl}: Número de uniones en la distancia más corta (distancia topológica) entre parches "k" y "l"**A_L: Atributo máximo de paisaje***Unidades:***Adimensional*

El índice de conectividad se estimó con el programa CONEFOR Sensinode 2.2 (CS22).

El IIC ayuda en la toma de decisiones para la conservación y manejo del hábitat. El uso de este programa permite dar diferentes priorizaciones a los parches por su contribución a la conectividad del paisaje, y provee criterios para la selección de las áreas más críticas de hábitat (University of Lleida 2007).

Los valores del IIC obtenidos con el programa CS22 para cada uno de los polígonos, fueron estandarizados al rango de 0 y 1, asignando 1 al valor más alto de IIC. Estos valores se representaron en cinco clases de acuerdo con el método de intervalos naturales (Natural breaks, Jenks, 1967). Este método permite distinguir agrupaciones y patrones de distribución inherentes a los datos; ya que el software ArcMap identifica los puntos de interrupción y los saltos de clase más importantes, de esta forma el programa agrupa los datos maximizando las diferencias entre clases.

Los intervalos determinados por el programa ArcMap para la Fecha 1, fueron asignados manualmente a los mapas de la Fecha 2 por estado, para hacerlos comparables. A las cinco clases de conectividad generadas, se les asignó las siguientes nomenclaturas de acuerdo con su Índice Integral de Conectividad: Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto.

El Índice Integral de Conectividad que se reporta en la tabla de atributos e índices de la clase manglar para cada estado, es el promedio del valor de IIC relativo de todos los parches de manglar; el cual se obtuvo a través del reporte de las estadísticas en ArcMap para este atributo.

Exploración de los parámetros biofísicos y estimación de biomasa vegetal en manglares de Laguna Pom Atasta, Campeche y Laguna Agua Brava, Nayarit

La exploración de parámetros biofísicos y de biomasa en manglar se realizó en dos sitios piloto: Laguna Pom Atasta, Campeche y Laguna Agua Brava, Nayarit. En la selección de los sitios se consideraron las características ambientales y estructurales del manglar así como su estado de conservación. También se buscó la representatividad de los tipos de manglar en México por categorías de altura: arbóreo medio a alto (Pom Atasta, Campeche) y arbóreo bajo a arbustivo (Agua Brava, Nayarit) (CONABIO, 2006).

Adicionalmente, la Laguna Pom Atasta forma parte de los sitios de validación/calibración del Grupo de Observaciones de la Tierra (GEO) y del proyecto de Seguimiento de Carbono Forestal (FCT) (GEO-FCT 2009).

Áreas piloto de estudio

Laguna Pom Atasta, Campeche

Forma parte de la Laguna de Términos, ubicada en la parte suroeste del estado de Campeche. Las coordenadas extremas del área de estudio son: 92°24'29'' y 92°03'54'' O y 18°42'33'' y 18°23'40'' N (Figura 2.8).

En Laguna Pom Atasta se presentan cuatro especies de manglar: *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*. Los manglares de esta laguna son los más conservados de la región de Laguna de Términos, presentando a los individuos más vigorosos, altos (algunos mayores a 25 m) y diversos (Reyes-Gómez y Vázquez-Lule 2009).

A pesar de que el área no está bajo fuertes presiones o amenazas, los principales agentes de destrucción son la expansión urbana, contaminación y procesos de azolvamiento, principalmente en la boca de los ríos y canales (Reyes-Gómez 2009).

Debido a las características biológicas de Laguna Pom Atasta, ésta es considerada como *sitio de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica* (CONABIO 2009a); también el sitio forma parte del área natural protegida Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, y es un humedal de importancia internacional Ramsar.

Laguna Agua Brava, Nayarit

Laguna Agua Brava se localiza en el norte del estado de Nayarit. Las coordenadas extremas del área de estudio fueron: 105°39'48'' y 105°19'13'' longitud oeste y 22°17'26'' y 21°58'33'' latitud norte (Figura 2.9).

El clima es cálido subhúmedo con temperatura media anual mayor a 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. La precipitación del mes más seco es menor de 60 mm y el porcentaje de lluvia invernal oscila entre 5 y 10.2% del total anual (García y CONABIO 1998). La geomorfología del sitio tiene un origen palustre, donde el solonchak predomina (INEGI 2000). Respecto a su dinámica hidrológica, el sitio recibe aportes de agua epicontinental de los ríos Bejuco, Acaponeta, Ruíz y San Pedro, y la marea es mixta, predominantemente semidiurna (CONABIO 2007, CONABIO *et al.* 2007).

Laguna Agua Brava forma parte del complejo lagunar Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales, que en conjunto tiene una extensión de 85,000 ha y representa el 11% del total de manglares a nivel nacional.

Las especies de manglar presentes son *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*.

El sistema ha estado expuesto a diversos impactos tanto de origen natural como antrópico. Hubo una disminución de su extensión asociada a los cambios hidrológicos causados por la apertura artificial del canal de Cuautla en 1971 y a los impactos producidos por el paso de los huracanes Rosa en 1994 y Kena en el 2002, así como el desarrollo de la camaronicultura en las dos últimas décadas. Cada evento de manera individual y conjunta han provocado cambios en la estructura y dinámica de los manglares de la zona.

Por sus características hidrológicas, geomorfológicas, fisicoquímicas, biológicas y ecológicas, ésta área se ha decretado como Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales y es un humedal de importancia internacional Ramsar.

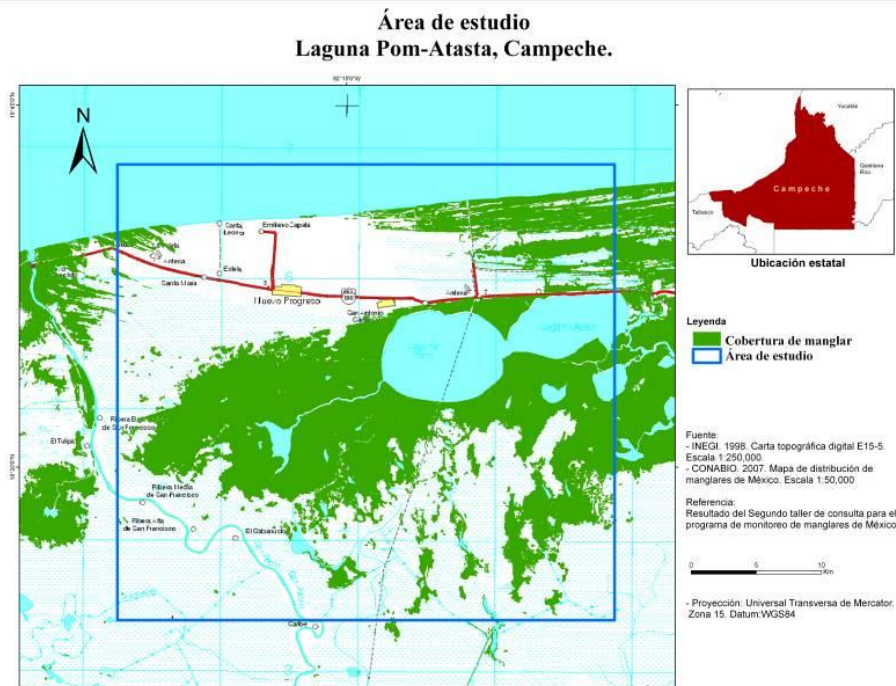


Figura 2.8. Área de estudio en Laguna Pom Atasta, Campeche.

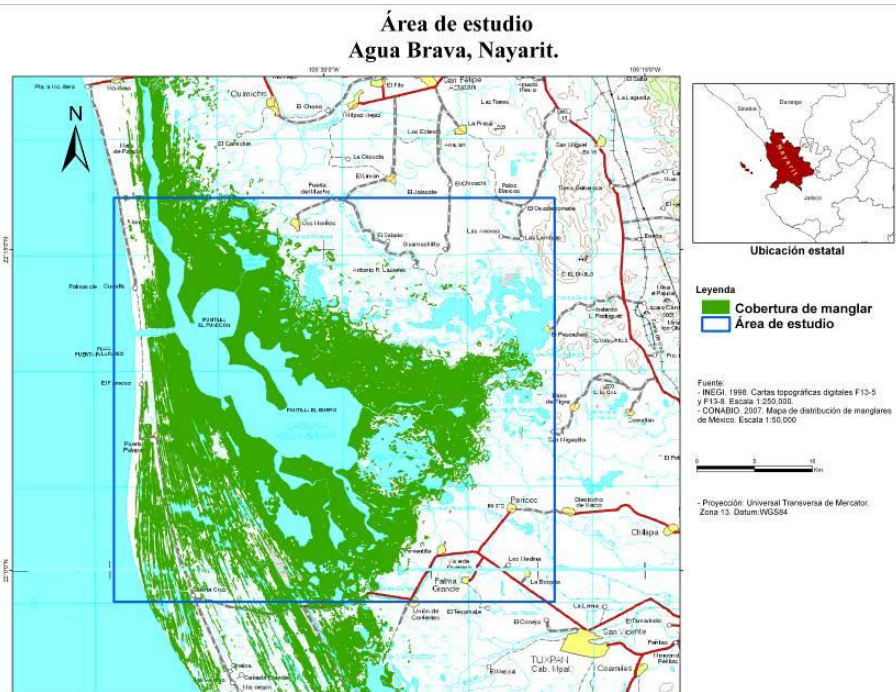


Figura 2.9. Área de estudio para Laguna de Agua Brava, Nayarit.

Exploración de NDVI, EVI y LAI a partir de series de tiempo de productos MODIS

La exploración de parámetros biofísicos se realizó con series de tiempo de productos MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) para detectar un posible cambio a través del tiempo en la condición de la vegetación de manglar. Los valores de estos índices (NDVI, EVI y LAI) están asociados al vigor de vegetación, la concentración de clorofila, la biomasa vegetal y la condición de salud de las plantas (Ruiz-Luna *et al.* 2010), de manera que pueden considerarse herramientas para identificar a través de series de tiempo la actividad fenológica, desarrollo e incremento de crecimiento, inicio de verdor, pico de verdor y cambios estacionales en la vegetación. También se obtuvieron series de tiempo para las coberturas aledañas al manglar, con la finalidad de identificar su respuesta.

Se emplearon los productos MOD13Q1 (NDVI y EVI) y MOD15A2 (LAI), todos de la plataforma Terra, del año 2001 al 2009 (Tabla 2.2). En la propuesta inicial se había considerado la exploración de productos de la plataforma Aqua de MODIS para los años 2008 y 2009, pero como el objetivo era detectar cambios en la condición de la vegetación de manglar, dos años no eran suficientes.

Todos los productos MODIS presentan proyección sinusoidal, donde cada mosaico cubre 10x10 grados en latitud y longitud. La Laguna Pom Atasta, Campeche, se encuentra en el mosaico h09v07 y la Laguna Agua Brava, Nayarit, en el h08v06.

Tabla 2.2. Características de los productos MODIS para la exploración de parámetros biofísicos.

Producto	Plataforma	Resolución espacial (m)	Resolución temporal (días)	Canal de interés	Serie de tiempo
MOD13Q1	Terra	250	16	NDVI EVI	2001-2009
MOD15A2	Terra	1000	8	LAI	2001-2009

Pre-procesamiento de productos MODIS

Para realizar las series de tiempo en los dos sitios con los tres índices (NDVI, EVI y LAI), se utilizó un total de 1,752 compuestos de imágenes MODIS, considerando los compuestos anuales y los de amortiguamiento.

Un compuesto MODIS se forma de múltiples observaciones en un periodo de tiempo, agrupando los píxeles con mayor calidad de respuesta de la superficie terrestre, lo que incluye a los píxeles libres de nubes, alejados del nadir del sensor, con un residual mínimo de aerosoles, entre otras condiciones (Huete *et al.* 2002). Para el producto MOD13Q1 la temporalidad es de 16 días y para el producto MOD15A2 la temporalidad es de 8 días. Los compuestos MODIS fueron obtenidos de la siguiente liga:

https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_overview.

Cada compuesto fue re-muestreado, re-proyectado y recortado para el área de interés. Para la Laguna Pom Atasta, Campeche, los compuestos fueron re-proyectados a Universal Transversa de Mercator (UTM) zona 15 Norte, mientras que para la Laguna Agua Brava, Nayarit, se re-proyectaron a UTM zona 13 Norte. Las coordenadas extremas de las áreas de estudio se presentan en la Tabla 2.3. Estos procedimientos fueron realizados con la herramienta *MODIS Reprojection Tool* 4.0, que se puede obtener en la ruta https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools/modis_reprojection_tool.

Después del pre-procesamiento de los compuestos se obtuvieron las series de tiempo a partir de interpolaciones lineales con el programa TiSeG (Colditz *et al.* 2008).

Tabla 2.3. Proyección y coordenadas extremas de las áreas de estudio para la exploración de parámetros biofísicos.

Áreas de estudio	Proyección	Zona UTM	Coordenadas superior izquierda	Coordenadas inferior derecha
Laguna Pom Atasta, Campeche.	UTM	15 N	X:561,000 Y:2,070,000	X:600,000 Y:2,033,000
Laguna Agua Brava, Nayarit.	UTM	13 N	X:430,000 Y:2,466,000	X:468,000 Y:2,429,000

Generación de series de tiempo en el programa TiSeG

Las series de tiempo se fundamentan en interpolaciones espaciales y temporales de información, de manera que en éstas se puede identificar la condición de un dato en forma bidimensional (espacio y tiempo). Algunos autores consideran que la realización de series de tiempo corresponde a un apartado del pre-procesamiento de información satelital, ya que es un requisito para describir la condición y los posibles patrones de las superficies de estudio (Colditz *et al.* 2008).

Las series de tiempo para las áreas de estudio fueron realizadas en el programa TiSeg (Colditz *et al.* 2008). Este programa permite identificar la calidad de los píxeles en cada compuesto para preservarla durante el proceso de interpolación. Los parámetros de calidad en los píxeles varían respecto al producto MODIS que se utilice, pero cada píxel cuenta con una evaluación de calidad de origen (Colditz *et al.* 2008).

El primer paso para realizar las series de tiempo fue evaluar la calidad de los píxeles para cada compuesto. Los resultados de esta evaluación se presentan en el apartado correspondiente por área de estudio.

Posteriormente a la evaluación de calidad, se obtuvieron las series de tiempo a partir de interpolaciones temporales lineales. Para realizar las interpolaciones lineales, TiSeg considera dos variables: el número máximo de píxeles inválidos (es decir, píxeles que no cumplen con los criterios de calidad que se establecen en el programa) y la longitud máxima de huecos en la interpolación (un continuo de píxeles inválidos que no cumplen los criterios de calidad establecidos). Estas variables son definidas por el productor de la serie, considerando la previa evaluación de calidad (Colditz *et al.* 2008).

La interpolación de los compuestos MODIS fue realizada en periodos anuales, considerando los compuestos desde el día 1 de enero al día 365 del mes de diciembre (en calendario juliano). Posteriormente, estas interpolaciones se unieron en una sola serie de tiempo que correspondía al periodo de estudio 2001-2009. También para cada interpolación anual se incluyeron compuestos previos y posteriores al año de estudio, con la finalidad de considerar una continuidad de la información; estos compuestos son llamados amortiguadores. El número de compuestos de productos MODIS empleados de forma anual para la interpolación y el número de compuestos amortiguadores se presentan en la Tabla 2.4 para cada área de estudio.

Tabla 2.4. Número de compuestos para el proceso de interpolación anual en la exploración de parámetros biofísicos.

Área de estudio	Producto MODIS	Número de compuestos utilizados para interpolaciones anuales	Número de compuestos de amortiguamiento utilizados para interpolaciones anuales	Total de compuestos
Laguna Pom Atasta, Campeche	NDVI	23	12	35
	EVI	23	12	35
	LAI	46	24	70
Laguna Agua Brava, Nayarit	NDVI	23	12	35
	EVI	23	12	35
	LAI	46	24	70

Para cada producto MODIS en cada área de estudio, se presentan dos series de tiempo. Para las dos áreas de estudio se identificó la cobertura de *Manglar*, que incluye la cobertura caracterizada como manglar en el Inventario nacional de manglares de CONABIO (2009b); sólo para Laguna Pom Atasta, se identificó la cobertura *Otros humedales*, considerada como la vegetación hidrofita de Popal-Tular-Carrizal, además de pastizales inundables, vegetación hidrófita o halófila con individuos de mangle dispersos o en forma de pequeños islotes, y terrenos salinos costeros con poca cubierta vegetal (Tabla 2.1). Para Laguna Agua Brava, se identificó la cobertura “otros coberturas”, caracterizada como zonas agrícolas, pecuarias y otros tipos de vegetación, donde se incluyó la vegetación secundaria arbórea, arbustiva y de herbáceas. Estas coberturas fueron analizadas con la finalidad de identificar su patrón de respuesta y sus diferencias respecto a la cobertura de manglar, debido a que son las coberturas más cercanas a éste en las áreas de estudio.

Tanto el título de las series de tiempo, como las coberturas de análisis se muestran en las Tablas 2.5 y 2.6, respectivamente para Laguna Pom Atasta, Campeche y Laguna Agua Brava, Nayarit.

Para realizar las series de tiempo de las coberturas de manglar, otros humedales y otras coberturas, se utilizó una máscara para cada uno de los compuestos interpolados, a partir de los mapas de uso del suelo y vegetación (2005) del presente estudio. Cada una de las máscaras se conformó de un determinado número de píxeles, sus características se resumen en la Tabla 2.7.

Tabla 2.5. Series de tiempo para cada área de estudio y producto MODIS en Laguna Pom Atasta, Campeche.

Producto MODIS	Nombre de la serie	Coberturas de análisis
NDVI	Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio de escena completa (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación).	Toda la escena (Aprox. 35 km ²) (Figura 2.8)
	Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio y desviación estándar de las coberturas de Manglar y Otros humedales (compuestos con interpolación lineal).	Solo cobertura de <i>Manglar</i> y cobertura de <i>Otros humedales</i> *
EVI	Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio de escena completa. (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación)	Toda la escena (Aprox. 35 km ²)
	Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio y desviación estándar de las coberturas de Manglar y Otros humedales (compuestos con interpolación lineal).	Solo cobertura de <i>Manglar</i> y cobertura de <i>Otros humedales</i> *
LAI	Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio de escena completa (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación).	Toda la escena (Aprox. 35 km ²)
	Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio de las cobertura de Manglar y Otros humedales (compuestos con interpolación lineal).	Solo cobertura de <i>Manglar</i> y cobertura de <i>Otros humedales</i> *
* Las coberturas de "manglar" y "otros humedales" fueron extraídas a partir de la cartografía de Uso del suelo y vegetación (2005) que se generó en el presente estudio. Para sus descripciones ver la Tabla 2.1.		

Tabla 2.6. Series de tiempo para cada área de estudio y producto MODIS en Agua Brava, Nayarit.

Producto MODIS	Nombre de la serie	Coberturas de análisis
NDVI	Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de escena completa (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación).	Toda la escena (Aprox. 35 km ²) (Figura 2.9)
	Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de las cobertura de Manglar y Otras coberturas (compuestos con interpolación lineal).	Solo cobertura de <i>Manglar</i> * y otras coberturas***
EVI	Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de escena completa. (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación)	Toda la escena (Aprox. 35 km ²)
	Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de las coberturas de Manglar y Otras coberturas (compuestos con interpolación lineal).	Solo cobertura de <i>Manglar</i> *Solo otras coberturas***
LAI	Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de escena completa (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación).	Toda la escena (Aprox. 35 km ²)
	Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de las cobertura de Manglar y Otras coberturas (compuestos con interpolación lineal).	Solo cobertura de <i>Manglar</i> * y otras coberturas**
* Las coberturas de <i>Manglar</i> , <i>Otros humedales</i> y otras coberturas fueron extraídas a partir de la cartografía de Uso del suelo y vegetación (2005) que se generó en el presente estudio.		
** La clase "otras coberturas" incluye a las clases: <i>Agrícola-pecuaria</i> y <i>Otra vegetación</i> . Para sus descripciones ver la Tabla 2.1.		

Tabla 2.7. Características de las máscaras aplicadas para cada cobertura en las áreas de estudio para la exploración de parámetros biofísicos.

Área de estudio	Producto	Cobertura	Número de píxeles	Área representada (ha)
Laguna Pom Atasta, Campeche.	NDVI	Manglar	204	1,275
		Otros humedales	100	625
	EVI	Manglar	204	1,275
		Otros humedales	100	625
	LAI	Manglar	20	2,000
		Otros humedales	20	2,000
Laguna Agua Brava, Nayarit.	NDVI	Manglar	180	1,125
		Otras coberturas	150	938
	EVI	Manglar	180	1,125
		Otras coberturas	150	938
	LAI	Manglar	20	2,000
		Otras coberturas	20	2,000

Estimación de la estructura de la comunidad vegetal de manglar y cálculo de biomasa in situ con relaciones alométricas en Laguna Pom Atasta, Campeche y Agua Brava, Nayarit

Para este apartado el tamaño de las áreas de estudio fue delimitada aproximadamente a 100 km², debido a que se buscó una mayor representatividad de los datos de campo, además de que se consideró que en Laguna Pom Atasta, el Grupo de Observación de la Tierra y FCT definieron un área de 100 km² para validación de biomasa vegetal. Siguiendo este criterio también para Laguna Agua Brava, Nayarit se identificó un área proporcional. En la Figura 2.10 se muestra el área de estudio para la Laguna Pom Atasta, Campeche y en la Figura 2.11 el área de estudio para Laguna Agua Brava, Nayarit.

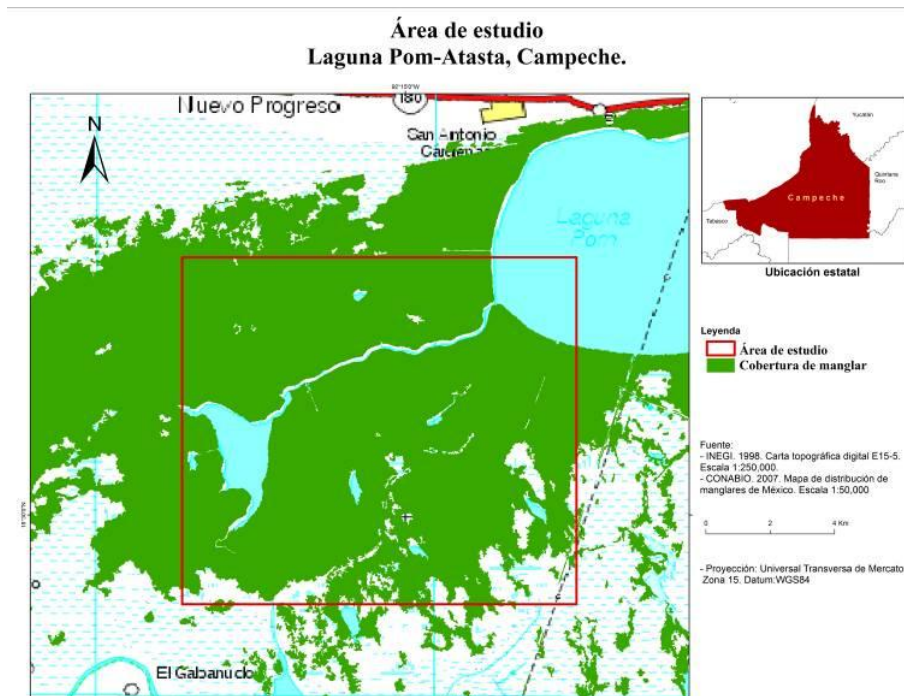


Figura 2.10. Área de estudio Laguna Pom Atasta, Campeche, para la estimación de estructura vegetal de manglares y biomasa *in situ*.

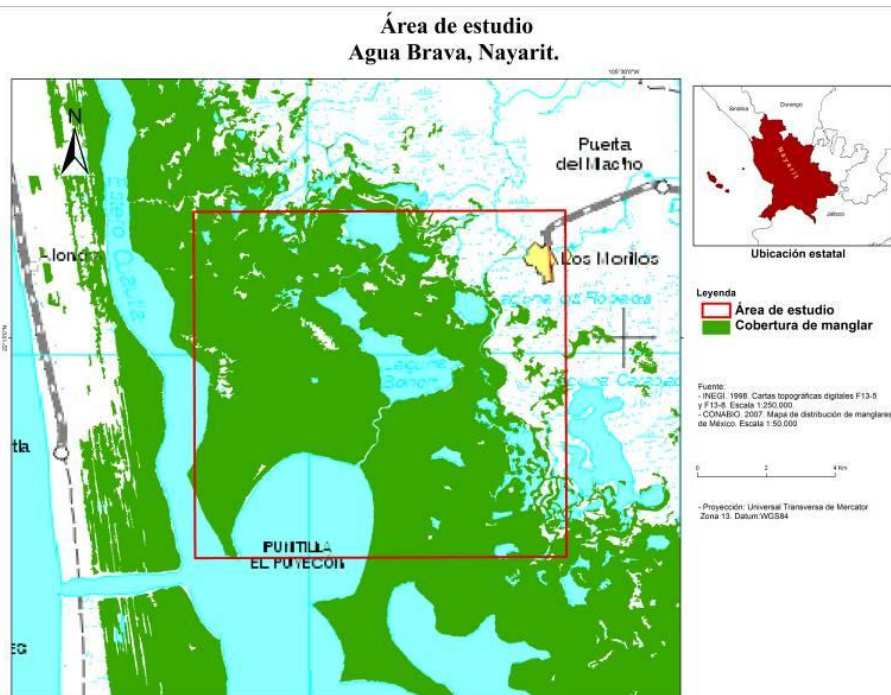


Figura 2.11. Área de estudio Laguna Agua Brava, Nayarit, para estimación de la estructura vegetal de manglares y biomasa *in situ*.

Diseño de muestreo

La estructura de la comunidad vegetal de manglar y la biomasa *in situ* fue estimada a partir de la obtención de datos de campo en las áreas de estudio. Para la obtención de los datos de campo se realizó un diseño de muestreo estratificado aleatorio, a partir del NDVI calculado con imágenes SPOT, fotografía aérea y un análisis de accesibilidad al sitio.

En lo que respecta al análisis de NDVI con imágenes SPOT, se utilizó una imagen para cada área de estudio, sus características son mostradas en la Tabla 2.8. A cada imagen se le aplicó una corrección geográfica, geométrica y radiométrica. La imagen para Laguna Pom Atasta, fue proyectada a UTM zona 15 Norte, mientras que para Laguna Agua Brava, a UTM Zona 13 Norte. El NDVI sólo se calculó para la cobertura de manglar, por ser la cobertura de interés.

Tabla 2.8. Características de las imágenes de satélite para el análisis de NDVI.

Satélite	K/J	Escena	Fecha de captura	Resolución (m)	Índice	Área de estudio
SPOT 5	603/313	E060105192538541	20 de marzo de 2005	10	NDVI	Laguna Pom Atasta, Campeche
SPOT 4	574/306	E060103001246835	8 de mayo de 2004	10	NDVI	Laguna Agua Brava, Nayarit

Para cada imagen de satélite se obtuvo el NDVI con el programa ERDAS Imagine. El NDVI para cada área de estudio fue segmentado en las clases que se muestran en la Tabla 2.9. Para cada una de las áreas de estudio se definieron diferentes clases de NDVI en función de los rangos que se presentaron; para la cobertura de manglar en Laguna Pom Atasta, se presentaron rangos de NDVI entre 0.60 y 0.75, mientras que para el manglar de Laguna Agua Brava, se presentaron rangos de NDVI entre 0 a 0.90. Por lo anterior para Laguna Pom Atasta, se muestran dos clases de NDVI y para Laguna Agua Brava cuatro clases.

Tabla 2.9. Análisis de NDVI para cada área de estudio.

Clase	Rango de NDVI		Color
	Laguna Pom Atasta	Laguna Agua Brava	
Clase A	0.6751 a 0.75	0.751 a 0.90	
Clase B	0.60 a 0.675	0.601 a 0.75	
Clase C		0.451 a 0.60	
Clase D		0 a 0.45	

Para cada una de las clases de NDVI se realizó un análisis visual y prospectivo de los diferentes tipos de manglar que podrían ubicarse en ellas, a partir de las fotografías aéreas tomadas por la CONABIO en 2008 (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>), con la finalidad de identificar las posibles especies de manglar que se desarrollaban en cada clase.

Con los resultados de NDVI para ambos sitios se realizó un análisis de accesibilidad. El análisis consistió en aplicar un buffer de 500 m alrededor de carreteras, terracerías, brechas, cuerpos de agua y canales de Pemex, para identificar las zonas accesibles y representativas de cada clase de NDVI.

A partir del análisis de accesibilidad por cada clase de NDVI, se realizó una celdilla con puntos distribuidos sistemáticamente cada 500 metros, estos puntos fueron interceptados con las clases de manglar y las zonas accesibles. De los puntos restantes del proceso anterior, con la función aleatoria de Excel se seleccionaron 10 puntos, que correspondieron al establecimiento de las 10 unidades de muestreo en campo. Los 10 puntos fueron seleccionados al azar, en función de la representatividad por clase de NDVI en las áreas de estudio.

Por razones logísticas, en Laguna Pom Atasta sólo fue posible realizar 8 unidades de muestreo del 22 al 27 de noviembre de 2010, y en Laguna Agua Brava 6 unidades de muestreo del 11 al 16 de abril de 2011. Cada unidad de muestro fue de 900 m² (30x30 m). Cada uno de los vértices de las unidades de muestro fueron georreferidos con un GPS marca Garmin con precisión de +/- 6 m. Las unidades de muestreo para Laguna Pom Atasta fueron georreferidas a la proyección UTM zona 15 Norte, y las unidades de muestreo para Laguna Agua Brava a la proyección UTM zona 13 Norte.

Por otra parte, se realizó una prueba de análisis de textura con imágenes de radar para ambos sitios, sin embargo los resultados no fueron satisfactorios debido a que no se encontró una relación entre las clases identificadas con el NDVI de las imágenes SPOT y los productos de textura. También se pretendía utilizar este análisis para realizar el diseño de muestreo.

Estimación de la estructura vegetal de la comunidad de manglar

En cada una de las unidades de muestreo establecidas en las áreas de estudio, las variables que se registraron en campo fueron: especie, altura de los árboles y diámetro a la altura del pecho (DAP), sólo se registraron individuos con $DAP \geq 2.5\text{cm}$. En el caso de las especies de *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y especies de selva baja inundable, el registro del DAP fue a una altura aproximada de 1.30 m, mientras que para *Rhizophora mangle* el registro se realizó encima de la última raíz (Cintrón y Schaeffer-Novelli 1983).

Durante el trabajo de campo en Laguna Pom Atasta, se observó que el manglar no estaba conformado por especies estrictas de este ecosistema, sino que también se presentaban especies características de selva baja inundable, aunque estas últimas se encontraban por debajo del dosel de las especies de manglar. En los análisis de estructura y biomasa todos los árboles de selva baja inundable fueron agrupados dentro de la categoría “especies de selva baja inundable”.

Con las variables medidas en campo se estimó la estructura vegetal de la comunidad de manglar, considerando la densidad, densidad relativa, área basal, dominancia, dominancia relativa, frecuencia relativa y valor de importancia de cada una de las especies. A continuación se describe cada una de las variables analizadas:

- (a) **Densidad:** Número de árboles por unidad de área, y se expresa en términos de individuos por hectárea (Mueller-Dombois y Ellenberg 1974). Para obtener la densidad de cada especie se calculó su presencia por unidad de muestreo y se extrapolaron los datos a 1 ha. También se obtuvo la densidad relativa de cada especie, multiplicando el resultado anterior por 100.
- (b) **Área basal (AB):** Valor que define el espacio que cubre el tronco de un árbol. Se expresa en m² por unidad de área y se estima a partir del DAP de los individuos (Schaeffer-Novelli y Cintrón 1986). El AB fue calculada por especie con la siguiente fórmula:

$$AB = \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{DAP}{100} \right)^2 \right)$$

Donde:

AB: Área basal en metros cuadrados

π: 3.1416

DAP: Diámetro a la altura del pecho

Con el resultado de área basal se calculó la dominancia de cada una de las especies a partir de la siguiente fórmula:

$$Dominancia = \frac{AB \text{ de una especie}}{AB \text{ de todas las especies}}$$

La dominancia relativa se obtuvo multiplicando el resultado anterior por 100.

- (c) **Frecuencia:** Número de veces que individuos de una especie se presentan por unidad de área (Mueller-Dombois y Ellenberg 1974).
- (d) **Valor de importancia:** Suma de la densidad relativa, dominancia relativa y frecuencia relativa. El valor de importancia llega a alcanzar un valor máximo de 300, de manera que es una medida asignada por la contribución de todas las especies y sus valores absolutos (Snedaker y Snedaker 1984). También para una mejor apreciación de éste resultado, los valores de importancia de las especies fueron relativizados a porcentajes.

Estimación de biomasa a partir de relaciones alométricas

La estimación de biomasa a partir de relaciones alométricas se fundamenta en que parte de la tasa de crecimiento de los organismos es proporcional a otro atributo, en este sentido para el caso de árboles, el diámetro del tronco de un individuo puede ser altamente relacionado con su peso, de manera que si el rango de variación en los diámetros de los árboles es medido, a partir de una ecuación de regresión se puede estimar la biomasa de cada uno de ellos (Komiya *et al.* 2008).

Para las dos áreas de estudio se utilizaron las fórmulas alométricas propuestas por Day *et al.* (1987), calibradas a partir de métodos destructivos de manglar en Laguna de Términos, Campeche, área donde se

encuentra Laguna Pom Atasta. La fórmula alométrica y sus coeficientes de regresión son mostrados en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10. Fórmulas alométricas y coeficientes de regresión para la estimación de biomasa vegetal.

Especies	Fórmula alométrica*	Coeficientes de regresión	r ² y tamaño de muestra (tm)
<i>Rhizophora mangle</i> **	$\text{Log}_e Y = A + B * \log_e X$	A= -1.5605 B= 2.5072	r ² = 94, tm=20
<i>Laguncularia racemosa</i> **	$\text{Log}_e Y = A + B * \log_e X$	A= -1.5919 B= 2.1924	r ² = 97, tm=20
<i>Avicennia germinans</i> **	$\text{Log}_e Y = A + B * \log_e X$	A= -1.5852 B= 2.3023	r ² = 97, tm=20
Especies de selva baja inundable***	$\text{Log}_e Y = A + B * \log_e X$	A= -1.5762 B= 2.3498	No aplica

* Y=Biomasa en kg; X=Diámetro a la altura del pecho en cm.

** Las fórmulas alométricas y los coeficientes de regresión fueron obtenidos de Day *et al* (1987).

*** En Laguna Pom Atasta, Campeche, se presentaron diferentes especies de árboles de selva baja inundable, estos árboles fueron agrupados como “selva baja inundable”. Para obtener la información de biomasa *in situ* y con la finalidad de que fueran comparables con la biomasa de las especies de manglar, se utilizó la misma fórmula alométrica y se promediaron los valores de los coeficientes de las especies *R. mangle* y *L. racemosa*.

A pesar de que la fórmula alométrica fue desarrollada para los manglares de Campeche, también la empleamos para estimar la biomasa en los manglares de Laguna Agua Brava, debido principalmente a que no hay fórmulas alométricas desarrolladas para las diferentes zonas de manglar del país.

Para *L. racemosa* en Marismas Nacionales, Nayarit, Valdéz (2004) desarrolló una fórmula para la obtención de volumen maderable, pero para obtener un valor de biomasa en kg a partir del volumen, es necesario conocer la densidad específica de la madera de cada una de especies.

En cada una de las unidades de muestreo se obtuvo el Índice de Área Foliar con el equipo Ocupar LP-80, que permite la obtención del LAI a partir de las mediciones de la fracción de la radicación fotosintéticamente activa, mostrando la proporción de radiación disponible en las longitudes de onda específicas para la fotosíntesis que el dosel puede absorber (400-700 nm). Los resultados de LAI se presentan como datos promedio a partir de las clases de manglar.

Los resultados para este apartado son mostrados por área de estudio y clase de NDVI para la cobertura de manglar.

Exploración de la estimación de biomasa vegetal con imágenes de radar

Para la exploración de la estimación de biomasa se utilizaron imágenes ALOS Palsar. El satélite ALOS Palsar fue desarrollado por la Agencia de Exploración Aeroespacial Japonesa y puesto en órbita el 24 de enero de 2006. Este satélite obtiene imágenes de radar de apertura sintética en banda L (frecuencia 1270 MHz), con una longitud de onda de 23.5 cm, en modos multi-polarimétricos (ERSDAC 2010).

Para cada área de estudio se exploró una imagen de radar en polarización HH (Polarización en horizontal-horizontal) y HV (polarización en horizontal-vertical), del año 2009, con resolución de 12.5 m (Tabla 2.11). Las imágenes fueron facilitadas en el marco del proyecto REDD+ y FCT.

Cada una de las imágenes fue extraída y procesada en el programa Envi 4.7. Dentro del pre-procesamiento para cada imagen de radar se obtuvo el producto de retrodispersión.

Tabla 2.11. Características de las imágenes ALOS Palsar.

Área de estudio	Escena	Fecha de toma	Resolución espacial (m)	Polarización
Laguna Pom Atasta, Campeche	ALPSRP187170350	30 de julio de 2009	12.5	HH/HV
Laguna Agua Brava, Nayarit	ALPSRP190530430	22 de agosto de 2009	12.5	HH/HV

El primer paso consistió en extraer la información del volumen de las imágenes, posteriormente a cada imagen se le aplicó una multivista (multi-look), para ajustar el tamaño de los píxeles a un tamaño real de terreno. Los productos resultantes fueron geocodificados a la proyección Universal Transversa de Mercator, Zona 15 y 13 Norte respectivamente para Laguna Pom Atasta y Laguna Agua Brava.

A cada una de las imágenes se les aplicó el proceso de calibración y normalización radiométrica, con el cual se obtuvo el coeficiente de retrodispersión en decibelios (dB). A estos productos se les aplicó un filtro de mediana (5x5) para minimizar las especulas que aumentan el ruido en la respuesta de las superficies.

Ya con las imágenes pre-procesadas se realizaron análisis de correlación y la exploración para la estimación de biomasa vegetal.

En lo que respecta a los análisis de correlación, éstos fueron aplicados para identificar la interacción de las dos polarizaciones en cada imagen de radar, considerando que cada una de las polarizaciones presenta una respuesta diferente para cada cobertura del suelo, al igual que para discernir si ambas podrían utilizarse indiscriminadamente para estimar biomasa. Las correlaciones fueron realizadas pixel a pixel entre la polarización HH y HV de cada imagen en el programa Grass 6.4.1.

Por otra parte, para cada imagen de radar se obtuvo la distribución espacial de sus valores de retrodispersión, a partir de la multiplicación pixel a pixel entre las dos polarizaciones. Para realizar este proceso cada una de las polarizaciones fue exportada al programa SAGA, donde sus valores fueron escalados en un rango de 0 a 1, este resultado se multiplicó pixel a pixel por la otra polarización de la misma imagen también escalada entre 0 y 1. El proceso fue realizado para mostrar la distribución de la retrodispersión y su posible relación con las características estructurales del manglar en cada área de estudio.

Para realizar la exploración de la estimación de biomasa vegetal a partir de las imágenes de radar, inicialmente la información de biomasa estimada *in situ* se escaló a la resolución de las imágenes (12.5 metros). Este escalamiento se realizó de dos formas: a) escalando la coordenada central de cada una de las unidades de muestreo en campo a un pixel con resolución de 12.5 m; y b) escalando la estimación de biomasa en campo por unidad de muestreo, de manera que cada unidad de muestreo abarco en promedio cerca de 6 píxeles de las imágenes de radar. En este sentido cada polarización de las imágenes de radar fue correlacionada con la biomasa estimada *in situ*.

Cabe mencionar que para ninguna de las dos áreas de estudio las correlaciones entre las polarizaciones de las imágenes y la biomasa estimada en campo presentaron una alta correlación positiva, de manera que la cartografía para este apartado no se realizó.

Exploración de la estimación de la biomasa vegetal a partir del Índice de Área de Foliar de MODIS

Para la exploración de la estimación de biomasa se empleó el Índice de Área Foliar (LAI), del producto MOD15A2 de MODIS. Para cada área de estudio se utilizó el compuesto de LAI más cercano a la fecha de muestreo en campo, considerando que presentará los valores más estables y continuos de acuerdo con la evaluación de calidad que se muestra en la sección de Resultados (Tablas 3.103 y 3.104).

Los insumos que se utilizaron fueron los siguientes:

1. Biomasa estimada *in situ* para las áreas de estudio.
2. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) obtenido de imágenes SPOT para las áreas de estudio (Tabla 2.8).
3. Compuestos de productos MODIS, Índice de Área Foliar (LAI):

Laguna Pom Atasta, Campeche: MOD15A2.A2010337.h09v07.005.2010346213551 del 3 de diciembre de 2010.

Laguna Agua Brava, Nayarit: MOD15A2.A2011105.h08v06.005.2011117120311 del 15 de abril de 2011.

Para la biomasa estimada *in situ*, las coordenadas de cada una de las unidades de muestreo en las áreas de estudio, fueron ubicadas en un polígono al que se le asignó el contenido de biomasa estimado. Para Laguna Pom Atasta se obtuvieron ocho polígonos y para Laguna Agua Brava seis polígonos; estos polígonos fueron convertidos a raster con una resolución de 10 metros, considerando la misma resolución y dirección de las imágenes SPOT utilizadas para el diseño de muestreo en cada área de estudio (Tabla 2.8). En promedio cada uno de los polígonos de unidades de muestro abarcó cerca de nueve píxeles de las imágenes SPOT.

Inicialmente con la biomasa estimada *in situ* en formato raster y las imágenes SPOT con resolución de 10 metros, se realizó una correlación. Con estos análisis se buscó encontrar una fuerte correlación entre la biomasa estimada *in situ* y el NDVI obtenido de las imágenes SPOT con resolución de 10 metros, considerando que a mayor NDVI mayor biomasa.

Los productos de NDVI obtenidos de las imágenes SPOT con resolución de 10 metros, fueron escalados a 1000 metros para compararse con los productos LAI de MODIS. Para este apartado se utilizó el proceso de “Upscaling” desarrollado por Rene Colditz, el cual toma en cuenta la resolución, el tamaño y las coordenadas extremas del producto a escalar (en este caso el NDVI obtenido de SPOT de 10 m a 1000 m) y del producto con las características de la escala deseada (LAI de 1000 m). Este proceso considera el peso promedio de las celdas con mayor resolución hacia las “nuevas” celdas con baja resolución, de manera que la contribución de las celdas de mayor resolución, es proporcional al área que cada una de ellas ocupa en la “nueva” celda de baja resolución. También es posible incluir información de valores mínimos, máximos, valores sin datos y porcentaje de datos válidos, estos criterios permiten al usuario realizar el escalamiento de productos con base en un conocimiento previo de la escena y el análisis posterior que se vaya a realizar.

El proceso de “Upscaling” para Laguna Pom Atasta, Campeche fue:

1. En el “Upscaling” para escalar la imagen de NDVI (SPOT), dentro del rango de los datos como mínimo se eligió un valor de -1 y un máximo de 1. También se consideró un porcentaje de datos válidos del 10%, es decir, se le pidió al programa que se escalaran todos los píxeles de NDVI dentro del rango mencionado, considerando la presencia de un 10% de éstos para obtener un píxel

de 1000 m. Este producto es llamado NDVI escalado 1, Laguna Pom Atasta, Campeche (1000x1000 m).

2. En el “Upscaling” para escalar la imagen de NDVI (SPOT), dentro del rango de los datos como mínimo se eligió un valor de 0.3 y un máximo de 1. También se consideró un porcentaje de datos válidos del 50%, es decir, se le pidió al programa que se escalaran todos los píxeles de NDVI dentro del rango mencionado, considerando la presencia de un 50% de estos píxeles para obtener un píxel de 1000 m. La elección de un valor mínimo más alto se realizó con la finalidad de que no se emplearan valores de NDVI correspondientes a la cobertura de agua, con este proceso se está asumiendo que la información que se utilizó para obtener un producto de NDVI a 1km sólo utilizó valores que correspondían a vegetación. Este producto es llamado NDVI escalado 2, Laguna Pom Atasta, Campeche (1000x1000 m).

El proceso de “Upscaling” para Laguna Agua Brava, Nayarit, fue:

1. En el “Upscaling” para escalar la imagen de NDVI (SPOT), dentro del rango de los datos como mínimo se eligió un valor de -1 y un máximo de 1. También se consideró un porcentaje de datos válidos del 10%, es decir, se le pidió al programa que se escalaran todos los píxeles de NDVI dentro del rango mencionado, considerando la presencia de un 10% de éstos, para obtener un píxel de 1000 m. Este producto es llamado NDVI escalado 1, Laguna Agua Brava, Nayarit (1000x1000 m).
2. En el “Upscaling” para escalar la imagen de NDVI (SPOT), dentro del rango de los datos como mínimo se eligió un valor de 0.0 y un máximo de 1. También se consideró un porcentaje de datos válidos del 50%, es decir, se le pidió al programa que se escalaran todos los píxeles de NDVI dentro del rango mencionado, considerando la presencia de un 50% de estos píxeles para obtener un píxel de 1000 m. La elección de un valor mínimo más alto se realizó con la finalidad de que no se emplearan valores de NDVI correspondientes a la cobertura de agua, con este proceso se está asumiendo que la información que se utilizó para obtener un producto de NDVI a 1km sólo empleó valores que corresponden a vegetación. Este producto es llamado NDVI escalado 2 Laguna Agua Brava, Nayarit (1000x1000 m).

Posteriormente, se buscó la relación de los productos escalados de NDVI (resolución 1000x1000 m) con el producto LAI de MODIS, considerando que en el producto escalado de NDVI se encuentran píxeles válidos que forman parte de las muestras estimadas de biomasa. Este proceso se realizó con la finalidad de identificar si el NDVI se encontraba relacionado con LAI, y si a partir de esta relación se podría explicar la biomasa estimada *in situ*.

TERCERA ETAPA

Identificación de sitios para conservación, manejo o rehabilitación.

Debido a las necesidades del Sector Ambiental, específicamente de la SEMARNAT, de contar con información para orientar las acciones de conservación y de rehabilitación en los sistemas de manglar mexicanos, la CONABIO organizó dos reuniones con especialistas en manglar para identificar sitios con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica a nivel nacional, la primera el 3 y 4 de septiembre de 2007 y la segunda el 11 y 12 de septiembre de 2008. Estas reuniones fueron un esfuerzo de la comunidad científica, gubernamental y no gubernamental para proporcionar información a la sociedad, con el fin de planear acciones de protección y rehabilitación de sitios de manglar. En ambas reuniones los especialistas identificaron sitios prioritarios con base en criterios cualitativos jerarquizados de aspectos biológicos, ecológicos y socioeconómicos.

Para cada sitio se cuenta con la ficha de criterios y una ficha de caracterización, con información de ubicación del sitio, características físicas, socioeconómicas, usos del manglar, descripción e importancia biológica, características de la estructura, impactos, amenazas y procesos de transformación, conservación y manejo de los manglares de cada sitio. En la mayoría de las fichas se presentan cuatro anexos: mapa de ubicación del sitio, catálogo fotográfico y lista de especies de plantas y animales.

Sistema de Monitoreo de Manglares de México

Con base en los resultados de las tres etapas del proyecto, se establecieron algunos parámetros e indicadores que se están integrando al Sistema de Monitoreo de los manglares de México a largo plazo, el cual permitirá contar con información actualizada, que ayudará a definir las acciones necesarias para la conservación, uso y rehabilitación ecológica de este tipo de hábitats. Con la información recabada también será posible, tanto para la CONABIO como para otras instituciones, generar modelos predictivos (vulnerabilidad, cambio climático, etc.)

Este sistema está basado en indicadores de monitoreo claramente establecidos apoyado en técnicas de percepción remota, trabajo *in situ* y retroalimentación entre instituciones.

No obstante, como en cualquier otro sistema podrán realizarse algunos ajustes a lo largo del tiempo que permitan mejorar el monitoreo. Este sistema se integrará al Programa de monitoreo de ecosistemas de la CONABIO. La ejecución del sistema de monitoreo estará bajo la dirección de la CONABIO, con la colaboración de las instituciones interesadas.

En la Figura 2.12 se esquematiza la conceptualización del Sistema de Monitoreo de Manglares de México. El sistema propuesto está separado en tres secciones (insumos, análisis y resultados), cada una de estas secciones es punto inicial de la siguiente. Los **insumos** conformarán el punto inicial de este proceso, y que básicamente son los resultados de las 3 etapas del proyecto así como los resultados de proyectos sobre monitoreo *in situ* de manglares que financia la CONABIO.

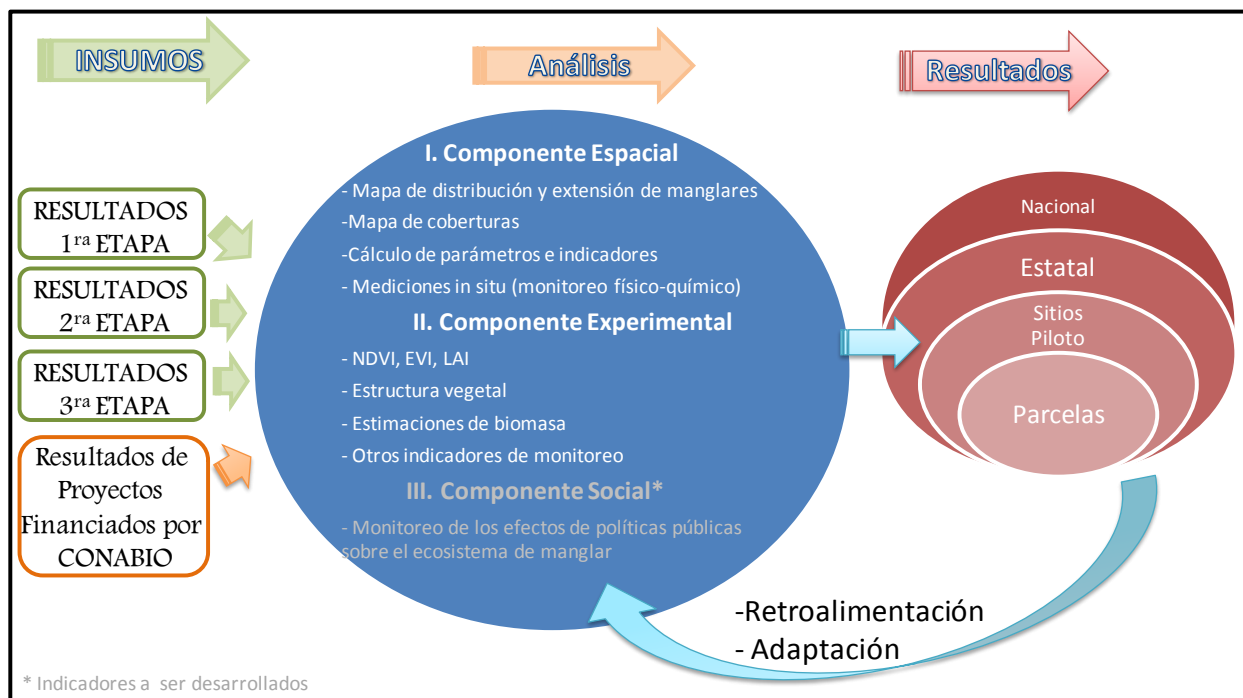


Figura 2.12. Esquema del Sistema de Monitoreo de Manglares de México.

A partir de esta información, se procederá al análisis correspondiente. El **análisis** estará conformado por tres componentes:

- a) el *Componente Espacial*, que utilizará el mapa de distribución y extensión de manglares (escala 1:50 000), el mapa de coberturas que serán generados para cada fecha de análisis (actualmente ya existen para 1970-1980 y año 2005 a escala 1:50 000) y otra información auxiliar, se calcularán los parámetros e indicadores propuestos que principalmente son derivados de herramientas de teledetección;
- b) el *componente experimental* comprende principalmente la exploración de parámetros y otros indicadores que permitan determinar el vigor de la vegetación (NDVI, EVI, LAI), estructura vegetal, estimación de biomasa y también algunos otros índices que nos permitan monitorear espacial y temporalmente a los manglares. Este componente será efectuado en sitios piloto, si los resultados encontrados en estas exploraciones apoyan de manera confiable al monitoreo de los manglares se verá la posibilidad de implementarlos a niveles estatal y nacional. Las escalas de monitoreo para la implementación de estos nuevos indicadores podrán variar de acuerdo con la necesidad y a la información con que se cuente, ya sean imágenes de satélite MODIS (NDVI, EVI, LAI), imágenes de Radar (estimaciones de biomasa) o trabajo de campo (estimación de biomasa, parcelas permanentes) y
- c) el *componente social* que será desarrollado a futuro incluirá indicadores que permitan monitorear los efectos de las políticas públicas sobre el ecosistema de manglar. Los **resultados**, según el parámetro e indicador seleccionado, serán presentados a nivel nacional, nivel estatal, nivel sitios piloto o a nivel de parcelas y reflejarán tendencias espaciales, tendencias temporales y tendencias ambientales en los manglares de México a la escala que la necesidad e información disponible lo permita.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

SEGUNDA ETAPA

Estimación de cambios e identificación de los principales agentes de transformación

Los resultados se presentan a continuación, en forma de Tablas y Figuras, así como la discusión correspondiente.

Nivel Nacional

Validación mapa 2005

La evaluación de la exactitud del mapa de uso del suelo y vegetación del 2005 (Fecha 2) de la República Mexicana se obtuvo a partir de la evaluación de 10,340 puntos de verificación obtenidos tanto de fotografías aéreas digitales de alta resolución, además de puntos de verificación de las otras instituciones (ver sección de materiales y métodos).

Las clases consideradas en la evaluación de la exactitud son sólo aquellas en las que se contó con el suficiente número de registros para las clases representadas en el mapa. Las clases que no fueron consideradas en la evaluación ocupan en el área de estudio superficies reducidas con relación a las clases tomadas en cuenta (exceptuando cuerpos de agua). La clase *Cuerpos de agua* no fue considerada debido a que la zona de estudio abarca 500 metros mar adentro a partir de la línea de costa, incrementando de manera considerable la superficie total de esta clase. De esta manera al incluir la clase *Cuerpos de agua* al análisis afectaría de manera considerable la evaluación de la exactitud al momento de ponderar los resultados por superficie de clase.

La exactitud global del mapa de uso del suelo y vegetación para el mapa Fecha 2 de la República Mexicana resultó en 76.96% (Tabla 3.1) con un coeficiente de Kappa ponderado de 0.70. Al calcular la exactitud con la matriz ponderada con la superficie de cada clase en el mapa, evitando el sesgo provocado por el tipo de muestreo seleccionado, la exactitud global estimada disminuyó a 63.38% (Tabla 3.2) y con el índice de Kappa en 0.51.

Tabla 3.1. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de la República Mexicana.

		Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
		2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	4212	149	29	53	4443	5.20	94.80
	3.- Otra vegetación	627	753	112	91	1583	52.43	47.57
	5.- Manglar	62	144	2297	147	2650	13.32	86.68
	7.- Otros humedales	606	160	202	696	1664	58.17	41.83
	Total	5507	1206	2640	987	10340	Exactitud Global %	
Error de Omisión %		23.52	37.56	12.99	29.48	76.96		
Exactitud Productor %		76.48	62.44	87.01	70.52			
^K		0.70						

Tabla 3.2. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de la República Mexicana, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

		Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
		2.- Agrícola-Pecuaría	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaría	23.34	0.83	0.16	0.29	24.62	5.20	94.80
	3.- Otra vegetación	14.74	17.71	2.63	2.14	37.23	52.43	47.57
	5.- Manglar	0.33	0.77	12.32	0.79	14.21	13.32	86.68
	7.- Otros humedales	8.72	2.30	2.91	10.01	23.94	58.17	41.83
	Total	47.14	21.61	18.02	13.24	100	Exactitud Global %	
Error de Omisión %		50.48	18.05	31.64	24.34		63.38	
Exactitud Productor %		49.52	81.95	68.36	75.66			
ΔK		0.51						

La clase *Manglar*, que es la de principal interés en este trabajo, presenta un buen nivel de exactitud de usuario, con errores de comisión asignados a *Otros humedales* y a *Otra vegetación*. Sin embargo, en la matriz de confusión ponderada, la exactitud del productor disminuye considerablemente, debido al sobre muestreo que presenta esta clase, dada su proporción del área en relación con el resto de las clases.

Al analizar las Tablas, la exactitud de productor es del 87% para la clase *Manglar*, con confusiones de omisión principalmente con *Otros humedales* y en segundo lugar con *Otra vegetación*. Estas últimas confusiones pueden deberse a que las firmas espectrales de otros tipos de vegetación se confunden en algunas ocasiones con *Manglar*, según la región del país. Por ejemplo, Quintana Roo y la zona norte del país (Baja California y Sonora), presenta dificultades para discriminar el *Manglar* chaparro de las zonas de humedales. En otras regiones, como el Pacífico Centro y Sur, existe un gradiente desde las zonas de *Manglar* hacia las selvas (zonas ecotonales), haciendo particularmente complicada la división de un ecosistema al otro. En la matriz ponderada por área la exactitud del productor disminuye a 68.36%. Sin embargo, a pesar de los errores de confusión presentados para la clase *Manglar*, un valor de más del 85% de exactitud es considerado por los estándares de la Subdirección de Percepción Remota de la CONABIO, y por casi cualquier estándar internacional, un muy buen nivel de exactitud para un mapa generado a través de técnicas de percepción remota.

La clase *Agrícola-pecuaria* tiene una elevada exactitud de usuario, con el 94.8% de áreas mapeadas correctamente. Sin embargo, tiene un 76.48% de exactitud de productor, con errores por omisión (áreas que no fueron consideradas como *Agrícola-pecuaria*, siendo que en la realidad lo son) asignados a *Otra vegetación* y *Otros humedales*. Muchos de estos errores se deben a que numerosas zonas de selvas y bosques son dedicados a las actividades pecuarias, sin la remoción completa de la superficie vegetal, o bien permitiendo la rotación y descanso del suelo. Este tipo de prácticas hace que por un lado sea difícil la interpretación de imágenes satelitales para la asignación de usos agropecuarios, y por otro lado deja la posibilidad para que en algunas zonas, los datos de campo se vuelvan obsoletos debido a la rápida recuperación de las selvas, hablando particularmente de la Península de Yucatán, donde la regeneración de las selvas bajas y medianas se da en apenas unos años. Por otro lado, existe un importante porcentaje del error debido a omisiones asignadas a *Otros humedales*, resultado de que en el país los humedales son comúnmente usados para el pastoreo de ganado, lo que hace relativamente complicado discriminar mediante imágenes satelitales, los humedales que tienen uso, de los que no tienen un uso agropecuario, sobre todo si no se cuenta con información auxiliar, como ocurrió para diversas áreas.

La clase *Otra vegetación*, al contrario de la *Agrícola-pecuaria*, tiene una baja exactitud de usuario (47.57%) contra una exactitud de productor aceptable y se debe justamente a las confusiones que existen contra la clase agropecuaria, haciendo que la clase *Otra vegetación* este sobrestimada y que por el contrario la clase *Agrícola-pecuaria* este subestimada.

También tenemos la clase *Otros humedales* que por un lado presentan un nivel aceptable de exactitud del productor con el 75.66%, con omisiones asignadas a la clase *Otra vegetación* principalmente. Por otro lado, los errores de comisión generalizados para *Otros humedales* asciende a más del 58%, ya que, como se explica arriba, áreas que efectivamente son humedales pero que están dedicadas a las actividades agropecuarias fueron clasificadas como *Otros humedales*, provocando un alto margen de error en la interpretación.

Finalmente, es necesario tomar en cuenta que los datos de campo para las clases que no eran *Manglar* fueron recolectados en distintos periodos y bajo términos distintos a los diseñados para este proyecto, y que las diferentes clases de coberturas del suelo son muy dinámicas en el tiempo y en el espacio, lo puede producir una sobre estimación de los valores encontrados en la omisión y comisión de las diferentes clases del mapa.

Tamaulipas

Validación mapa 2005

La evaluación de la exactitud del mapa de uso del suelo y vegetación del 2005 (Fecha 2) de Tamaulipas se obtuvo a partir de 195 fotografías aéreas digitales de alta resolución, además de 50 puntos de verificación de las otras instituciones (ver sección de materiales y métodos) por lo que en total se obtuvieron 245 puntos, de los cuales se presenta la evaluación de 131 correspondientes a las 4 clases evaluadas. La exactitud global del mapa de uso del suelo y vegetación para el mapa Fecha 2 de Tamaulipas resultó en 77.1% (Tabla 3.3) con un coeficiente de Kappa ponderado de 0.73. Al calcular la exactitud con la matriz ponderada con la superficie de cada clase en el mapa, evitando el sesgo provocado por el tipo de muestreo seleccionado, la exactitud global estimada aumentó a 81.35% (Tabla 3.4) pero con el índice de Kappa en 0.65.

Con una exactitud de usuario del 96.67%, la clase *Agrícola-pecuaria* tiene mínimos errores de comisión, únicamente existe un punto de confusión con *Otros humedales*. Del lado contrario, existe un error de comisión de *Otros humedales* del 38% debido a confusiones con *Agrícola-pecuaria*. La clase *Otra vegetación* con una exactitud de usuario de 46.67% presenta confusiones importantes con *Otra vegetación* y *Otros humedales*, estableciendo que lo clasificado en el mapa como *Otra vegetación*, tiene elevadas probabilidades de ser *Agrícola-pecuaria* u *Otros humedales*. Por otro lado, la clase *Manglar* presenta una exactitud de usuario del 91.67%, mientras que tiene exactitud del productor de apenas 54.97%, lo que significa que existe una sobrestimación del manglar, exaltada por la ponderación de áreas.

Tabla 3.3. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Tamaulipas.

		Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
		2.- Agrícola- Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	32	0	0	1	33	3.03	96.97
	3.- Otra vegetación	4	7	1	3	15	53.33	46.67
	5.- Manglar	0	0	33	3	36	8.33	91.67
	7.- Otros humedales	11	4	3	29	47	38.30	61.70
	Total	47	11	37	36	131	Exactitud Global %	
Error de Omisión %		31.91	36.36	10.81	19.44	77.10		
Exactitud Productor %		68.09	63.64	89.19	80.56			
^K		0.73						

Tabla 3.4. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Tamaulipas, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

Tamaníap, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.								
		Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
		2.- Agrícola- Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	58.32	0.00	0.00	1.82	60.14	3.03	96.97
	3.- Otra vegetación	4.46	7.81	1.12	3.35	16.74	53.33	46.67
	5.- Manglar	0.00	0.00	2.92	0.27	3.18	8.33	91.67
	7.- Otros humedales	4.67	1.70	1.27	12.30	19.93	38.30	61.70
	Total	67.45	9.51	5.30	17.74	100	Exactitud Global %	
Error de Omisión %		13.54	17.84	45.03	30.65	81.35		
Exactitud Productor %		86.46	82.16	54.97	69.35			
^K		0.65						

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para 1976 (Fecha 1) y 2005 (Fecha 2) de Tamaulipas, estos se presentan en la Figura 3.1 y en la Tabla 3.5, así como en el Anexo 1, Mapas 1 al 4.

Para el estado de Tamaulipas, el área de estudio es de 153,744.5 ha, que representa el 1.79% del total nacional. La distribución de tipos de coberturas en la fecha inicial mostraba dos coberturas terrestres dominantes: *Agrícola-pecuaria* y *Otra vegetación*, sumando el 54% de superficie del área de estudio. Para el año 2005, la distribución de dominancia se mantiene para la clase *Agrícola-pecuaria*, pero la segunda clase dominante cambia a *Otros humedales*, sumando el 52% de la cobertura.

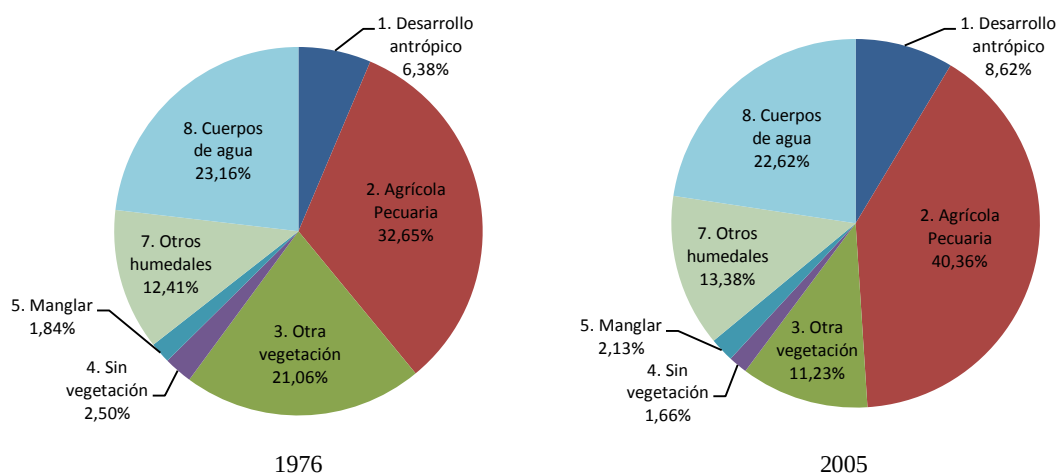


Figura 3.1. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Tamaulipas en los años 1976 y 2005.

Tabla 3.5. Extensión del uso del suelo y vegetación en Tamaulipas (1976-2005).

Clase	1976		2005		+/- Netas	r (%)
	ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	9,809.5	6.38	13,250.6	8.62	3,441.1	1.04
2.- Agrícola - Pecuaria	50,192.6	32.65	62,046.1	40.36	11,853.5	0.73
3.- Otra vegetación	32,384.8	21.06	17,271.3	11.23	-15,113.5	-2.16
4.- Sin vegetación	3,850.4	2.50	2,551.2	1.66	-1,299.2	-1.30
5.- Manglar	2,830.7	1.84	3,281.2	2.13	450.5	0.60
6.- Manglar perturbado	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
7.- Otros humedales	19,075.3	12.41	20,564.3	13.38	1,489.0	0.26
8.- Cuerpos de agua	35,601.2	23.16	34,779.8	22.62	-821.4	-0.06
9.-Otros (nubes y sombras)	0.0	0.00	0.0	0.00	n.a.	n.a.
Total	153,744.5	100.00	153,744.5	100.00		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

En términos de superficie total, para cada clase es posible apreciar un incremento de las áreas para *Agrícola-pecuaria* y *Desarrollo antrópico* así como una reducción muy importante para la clase *Otra vegetación*. Para este periodo de análisis se estableció un total de 44,535 ha que tuvieron cambio de una categoría a otra, lo que representa el 28.97% del área de estudio (Tabla 3.6). De estos cambios, el más notorio fue el producido en la clase *Otra vegetación* que pasó a las clases *Agrícola-pecuaria* (17,591 ha) y *Desarrollo antrópico* (1,959 ha) representando casi el 44% de los cambios.

Las tasas de transformación que se encuentran en la Tabla 3.5 muestran que la clase *Otra vegetación* y la clase *Sin vegetación* fueron las que tuvieron las pérdidas más importantes en su tipo de cobertura (-2.16% anual y -1.30% anual respectivamente). Por otro lado la cobertura *Desarrollo antrópico* presentó la mayor tasa de cambio positiva, 1.04% anual, seguida de la clase *Agrícola-pecuaria* con 0.73% anual. El aumento de la zona urbana se debió principalmente al crecimiento de Ciudad Madero, Tampico, Altamira y Miramar a expensas de las clases *Otra vegetación* y *Agrícola-pecuaria*, con una disminución neta en estas superficies a clase *Desarrollo antrópico* de 1,603 ha y 757 ha respectivamente (Tabla 3.6).

Cabe resaltar que para este periodo de análisis la cobertura de *Manglar* tuvo una ganancia neta de 450 ha, lo que significa un crecimiento de 16% de la superficie original y una tasa de cambio de 0.60% anual.

Los resultados obtenidos de la Estabilidad de Localización (EL), ver Tabla 3.6, muestran que las categorías *Otra vegetación* y *Sin vegetación* fueron las que menores valores obtuvieron, con 33.91% y 45.69 % respectivamente. Cabe mencionar que para la Estabilidad de Residencia (ER), estas mismas dos categorías presentan los valores más bajos (*Otra vegetación* con -46.67% y *Sin vegetación* con -33.74%). Esto nos indica que las coberturas se redujeron a más de la mitad de su superficie original entre el periodo de estudio. Para el caso de *Manglar* los valores obtenidos en EL (62.51%) y ER (15.92%) nos indican que los manglares desaparecieron de sus localidades originales casi en un 40%, y que también tienen una cierta capacidad de poder establecerse en otros lugares, sólo superado por *Desarrollo antrópico* (ER = 35.08%) y *Agrícola-pecuaria* (ER = 23.62%).

Realizando un análisis más enfocado a la dinámica que han seguido las áreas de manglar durante el periodo de estudio, se observa que de la superficie actual de manglares, casi el 63% corresponde a las mismas áreas que se encontraban en la Fecha 1. Las zonas de manglar que cambiaron hacia otro tipo de vegetación en el 2005 (Figura 3.2), lo hicieron principalmente hacia *Otros humedales* (53.39%), seguido en menor medida a *Cuerpos de agua* (21.69%). Por otra parte, en la Tabla 3.6 se muestra que las áreas que no eran manglares en el mapa de Fecha 1 y que para el mapa de Fecha 2 pasaron a esta clase corresponden nuevamente a *Otros humedales* (49.73%), seguidas por áreas con *Cuerpos de agua* (37.23%) y *Otra vegetación* (6.94%).

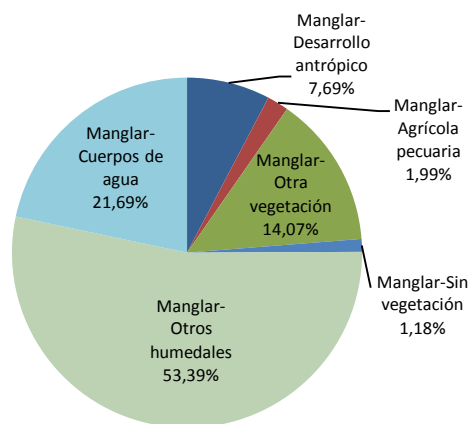


Figura 3.2. Distribución de los cambios de la clase *manglar* en el área de estudio en el estado de Tamaulipas durante el periodo 1976 – 2005.

La dinámica descrita en el párrafo anterior respecto a los cambios de coberturas entre *Manglar*, *Otros humedales* y *Cuerpos de agua* es muy frecuente cuando existen alteraciones de origen natural o antropogénico. En relación con el cambio de coberturas en la región del río Bravo (Figura 3.3) podemos sugerir que la conexión del canal intra-costero con el canal de Texas como parte de un proyecto megaturístico es un agente que altera la hidrología natural del sistema (Arriaga *et al.* 2000), provocando los consecuentes cambios de coberturas. Otros problemas identificados por los mismos autores en la zona

del río Bravo y que influyen en las coberturas existentes son la desecación, la contaminación del mismo río y su azolve, así mismo la retención de agua dulce en las presas, hace que muchas veces y temporalmente pierda el carácter estuarino de la región.

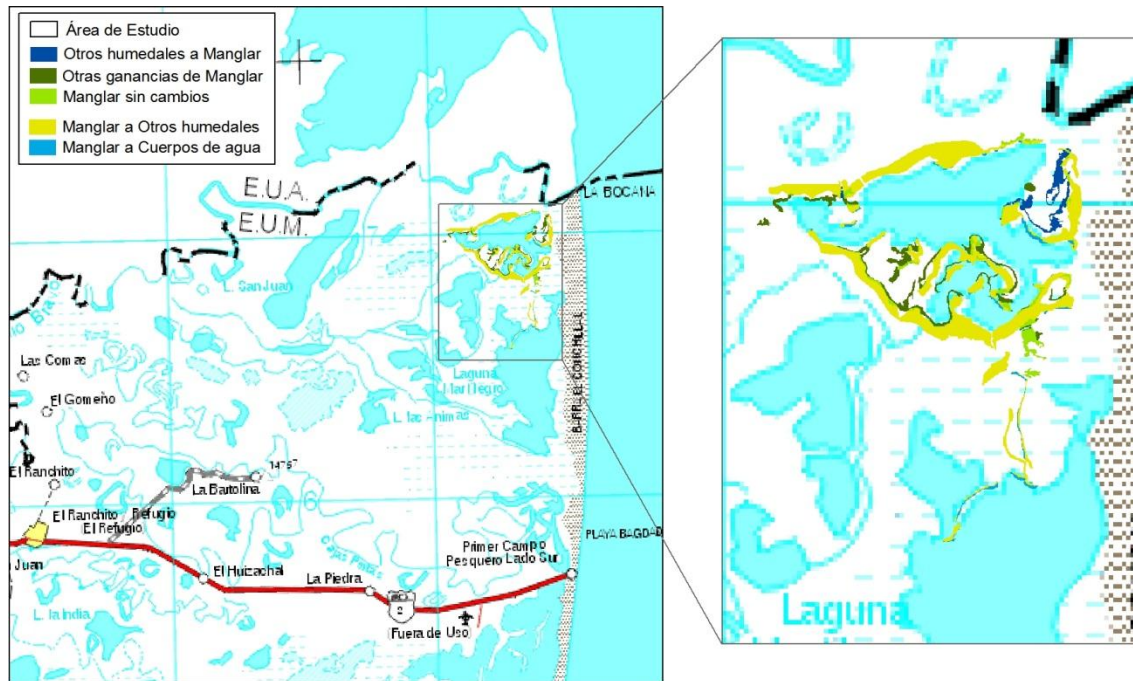


Figura 3.3. Río Bravo, Tamaulipas. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar respecto a otros humedales y cuerpos de agua en el periodo 1976 – 2005.

A lo largo de la costa de Tamaulipas, especialmente desde Ciudad Madero hasta la región conocida como La Pesca, donde desemboca el río Soto la Marina, se observan procesos alternados de ganancia y pérdida de manglar (Figura 3.4). En ciertas regiones existe pérdida de manglar especialmente por construcción de estanques destinados a la acuicultura (TNC 2008).

En la década de los setentas el agua de los ríos que desembocaban en estas lagunas costeras, especialmente en la Laguna Madre, se empleaba para riego por lo que muchas de estas lagunas se volvieron hipersalinas (Martínez y Novelo 1993). Esto también pudo haber causado una disminución considerable de la cobertura de manglar para los registros obtenidos en el mapa Fecha 1. Aunque la infraestructura antrópica modificó la hidrología del lugar y esto ocasionó pérdidas directas en la cobertura de *Manglar*, puede que, por otro lado y de manera independiente, estas modificaciones hídricas permitieran un proceso de establecimiento natural de parches de manglar a lo largo de las orillas de las lagunas costeras que se distribuyen en toda esta región.

Muchos autores (Martínez y Novelo 1993, TNC 2008, Arriaga *et al.* 1998, Botello 1978, DUMAC 1990) documentan que los grandes problemas que alteran la vegetación costera se encuentran ligados a la contaminación y a los fuertes cambios en la concentración de sales que ha sufrido todo este sistema en los últimos 25 años lo cual juega un papel determinante en la distribución y abundancia de las especies.

En la Figura 3.4 también podemos observar que al oeste de la ciudad de Tampico encontramos los parches más grandes de ganancia de manglar, esto a pesar de los reportes del deterioro de los cuerpos de agua, sobre todo en el río Tamesí cerca a la desembocadura con el río Pánuco. Es contradictorio pero esto concuerda con Martínez y Novelo (1993) que mencionan estos deterioros pero indican que la vegetación acuática está aún conservada y que hay recuperaciones importantes de coberturas naturales.

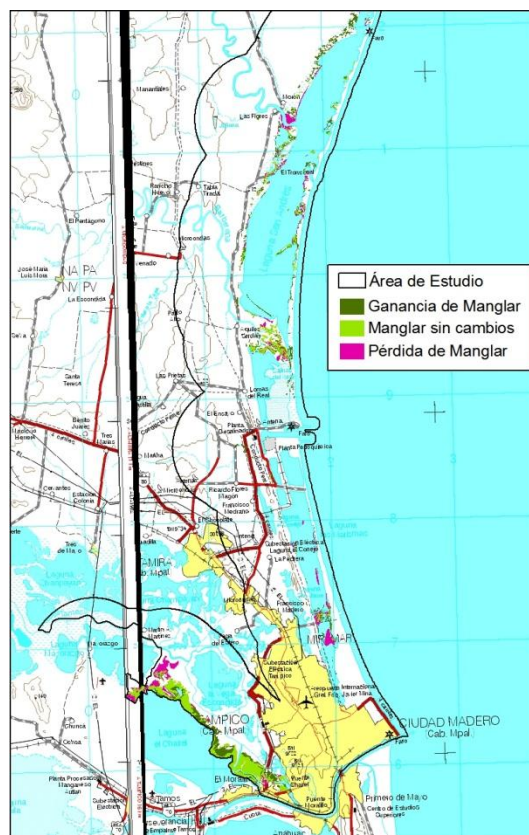


Figura 3.4. Tampico y Ciudad Madero, Tamaulipas. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1976 – 2005.

Parecería a simple vista que la construcción de infraestructura antrópica o las actividades agrícolas no se encuentran directamente ligadas a estas transformaciones del manglar. Sin embargo como se mencionó en párrafos anteriores se encuentra documentado que los cambios en la dinámica hídrica de las lagunas salobres que se encuentran a lo largo de la costa del estado de Tamaulipas afectan a la vegetación asociada. Como se observa en la Tabla 3.6, los mayores aportes de manglar para la Fecha 2 fueron de las categorías *Otros humedales* y *Cuerpos de agua*, dando en conjunto un total aproximado de 87% de conversión a la categoría *Manglar*.

El análisis de probabilidades de cambio (Tabla 3.7) nos muestra que la clase *Otra vegetación*, presenta el valor más alto de todos los obtenidos y que los parches de vegetación natural tienen las mayores probabilidades de pasar a la clase *Agrícola - pecuaria* (11.44%). También podemos indicar que el crecimiento de infraestructura antrópica está proyectado a expensas de la vegetación natural y campos destinados al cultivo o ganadería con probabilidades de 1.27% y 1.06%. En el caso de manglar la tendencia es mayor de un cambio de las coberturas de *Otros humedales* y *Cuerpos de agua* hacia manglares que de este ecosistema a los anteriores. Es decir que si la tendencia continúa, y se toman medidas de manejo adecuadas, se espera una mayor recuperación y ganancia de superficies y parches de manglar a futuro.

Tabla 3.6. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Tamaulipas (1976-2005).

Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005	
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	7,942.8	1,631.1	1,958.6	217.9	81.6	0.0	1,113.5	305.1	13,250.6
	2.- Agrícola - Pecuaria	873.7	42,548.5	17,591.2	146.6	21.1	0.0	666.0	199.0	62,046.1
	3.- Otra vegetación	355.6	4,365.4	10,981.5	408.3	149.3	0.0	716.1	295.1	17,271.3
	4.- Sin vegetación	82.2	124.3	159.0	1,759.4	12.5	0.0	273.3	140.5	2,551.2
	5.- Manglar	15.4	35.8	104.9	41.1	1,769.6	0.0	751.8	562.6	3,281.2
	6.- Manglar perturbado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	7.- Otros humedales	365.8	1,155.4	1,092.7	260.4	566.5	0.0	13,616.2	3,507.3	20,564.3
	8.- Cuerpos de agua	174.0	332.1	496.9	1,016.7	230.1	0.0	1,938.4	30,591.6	34,779.8
Total 1976	9,809.5	50,192.6	32,384.8	3,850.4	2,830.7	0.0	19,075.3	35,601.2	153,744.5	
EL %	80.97	84.77	33.91	45.69	62.51	0.00	71.38	85.93		
ER %	35.08	23.62	-46.67	-33.74	15.91	0.00	7.81	-2.31		

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9, la cual podría presentar sobreposición en ambas fechas. Cartografía digital relacionada: TAM_CC_ccl.shp y TAM_CM_ccl.shp.

Tabla 3.7. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Tamaulipas (1976-2005).

Tabla 3.77. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Tamaulipas (1976-2005).										
		Mapa 1976								
	Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	5.17	1.06	1.27	0.14	0.05	0.00	0.72	0.20	8.61
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.57	27.67	11.44	0.10	0.01	0.00	0.43	0.13	40.35
	3.- Otra vegetación	0.23	2.84	7.14	0.27	0.10	0.00	0.47	0.19	11.24
	4.- Sin vegetación	0.05	0.08	0.10	1.14	0.01	0.00	0.18	0.09	1.65
	5.- Manglar	0.01	0.02	0.07	0.03	1.15	0.00	0.49	0.37	2.14
	6.- Manglar perturbado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7.- Otros humedales	0.24	0.75	0.71	0.17	0.37	0.00	8.86	2.28	13.38
	8.- Cuerpos de agua	0.11	0.22	0.32	0.66	0.15	0.00	1.26	19.90	22.62
Total 1976		6.38	32.64	21.05	2.51	1.84	0.00	12.41	23.16	99.99

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Patrones e índices espaciales

En la Tabla 3.8 se muestran los resultados del cálculo de los diferentes índices aplicados a la distribución de manglares en el estado de Tamaulipas para los años de 1976 y 2005. El área de manglar se incrementó en 450 ha en el periodo 1976- 2005 y que el número de parches en la Fecha 1 es menor que en la Fecha 2; este patrón sigue lo esperado en términos generales, ya que se asume que a mayor fragmentación existirá un mayor número de parches. El incremento del área total de manglar también influyó a que el número de parches aumentara por la aparición de nuevos parches cartografiables a la escala de trabajo (1:50 000).

Tabla 3.8. Atributos e índices de la clase manglar en el estado de Tamaulipas.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM (%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	IF	IIC
F1	2,831	225	16.08	12.58	0.03	0.23	0.61	20.55	0.013
F2	3,281	327	21.77	10.03	0.05	0.46	0.73	13.72	0.007

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; NP: Número de Parches; IPM: Índice de Parche Mayor; AP: Área promedio de los parches; IA_L: Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; IA_S: Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; R_c: Dispersión de parches; IF: Índice de fragmentación; IIC: Índice Integral de conectividad.
En negrillas se muestra el valor más alto.

La dominancia del parche de manglar con mayor superficie (21.8) es más alta en 2005 que en 1971 (16.1). Este incremento se explica principalmente por la expansión de esta misma mancha de manglar en este periodo de análisis, la cual se encuentra a lo largo del río Tamesí.

El incremento del área total como el del número de parches de manglar fue acompañado con la reducción del área promedio de los parches (Tabla 3.8). El valor de diferencia para el AP entre las dos fechas fue de 2.55 ha, esta reducción de área promedio fue estadísticamente significativa ($p = 0.004$; $Z = 2.873$).

Aproximadamente el 81% de los parches estimados en este análisis presentan un tamaño entre 1 a 10 hectáreas en las dos fechas. El 98% de los fragmentos se encuentran fuertemente sesgados a un tamaño menor a 70 hectáreas para ambas fechas. En contraste, sólo cinco (Fecha 1) y tres (Fecha 2) parches fueron determinados con superficies mayores a 100 ha (Figura 3.5). En esta categoría sobresale un parche mayor a 400 ha en la Fecha 1 a orillas del río Tamesí, el mismo que fue creciendo y conectándose con parches circundantes lo cual resultó en un parche mayor a 700 ha para la Fecha 2.

El índice de amenaza por longitud de frontera en la región de estudio se incrementó de 0.03 a 0.05. El índice de área se duplicó al pasar de 0.23 a 0.46. La escasa existencia de contactos entre manglar y actividades antrópicas en su perímetro, pudiese explicar la expansión de las áreas de este ecosistema en la región de la Fecha 1 a la Fecha 2. Si bien se registró un incremento significativo en el área colindante con actividades antrópicas que a mediano plazo podrían implicar nuevas amenazas para el desarrollo de este ecosistema.

El valor de dispersión de parches (R_c), un producto intermedio para el cálculo del índice de fragmentación, indicó que los parches de manglar para ambas fechas (R_c < 1), presentaron una distribución agregada en el área de estudio. Ya que el índice de fragmentación IF presenta una relación inversamente proporcional al grado de fragmentación, el menor valor obtenido en la Fecha 2 en relación con la Fecha 1 nos indica que existió un proceso de fragmentación en la cobertura de manglar. Por el valor obtenido del IF para la Fecha 2, el cual es relativamente bajo (13.7), se puede inferir que el estado de Tamaulipas tiene una fuerte fragmentación de este ecosistema. Habría que considerar que el gran espacio que se tiene entre los parches de manglar de la desembocadura del río Bravo y los parches de la parte sur del estado de Tamaulipas,

puedan estar afectando este índice. Los parches de esta vegetación se limitan por la escasez de agua dulce en la Laguna Madre por lo que se trataría de una fragmentación natural de los manglares.

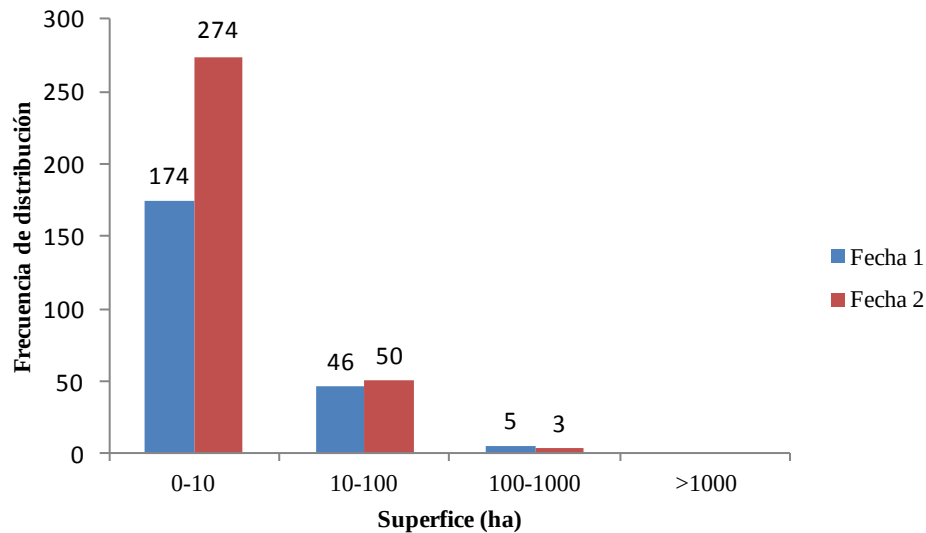


Figura 3.5. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Tamaulipas.

De los 225 parches de manglar observados en la Fecha 1 en el estado de Tamaulipas, tres de ellos (en total 848 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) *Alto* y *Muy Alto*, mientras que en la Fecha 2, de los 327 parches de manglar presentes en esa fecha, dos de ellos (en total 996 ha) presentaron valores IIC *Altos* o *Muy Altos* (Figura 3.6 y Mapas 1 y 2 del Anexo 2).

La superficie del parche con valor más alto de IIC para la Fecha 1 fue de 477 ha, mientras que para la Fecha 2, la superficie del parche con valor más alto de IIC fue de 713 ha (incremento de 236 ha), esto como consecuencia del crecimiento y conexión con parches circundantes (Figura 3.7), este parche se encuentra ubicado en la laguna El Chairel. El incremento en la superficie total del parche con mayor valor de IIC, sugiere un posible proceso de colonización en el área, lo cual es un patrón natural que siguen los manglares cuando las condiciones lo permiten. La superficie de manglar con un valor *Muy alto* o *Alto* aumentó 148 ha.

Los resultados del Índice Integral de Conectividad permiten identificar los parches que representaron la mayor importancia en términos de conectividad para cada una de las fechas. El número de parches con un IIC *Alto* o *Muy Alto* disminuyó, de tres en 1976 a dos en 2005, como resultado de la unión de dos de los parches con valor *Alto* en la primera fecha. Estos resultados indican que los manglares del sistema laguna El Chairel están expandiéndose en extensión, sin embargo se desconoce el tipo de estructura forestal y condición de estos sistemas.

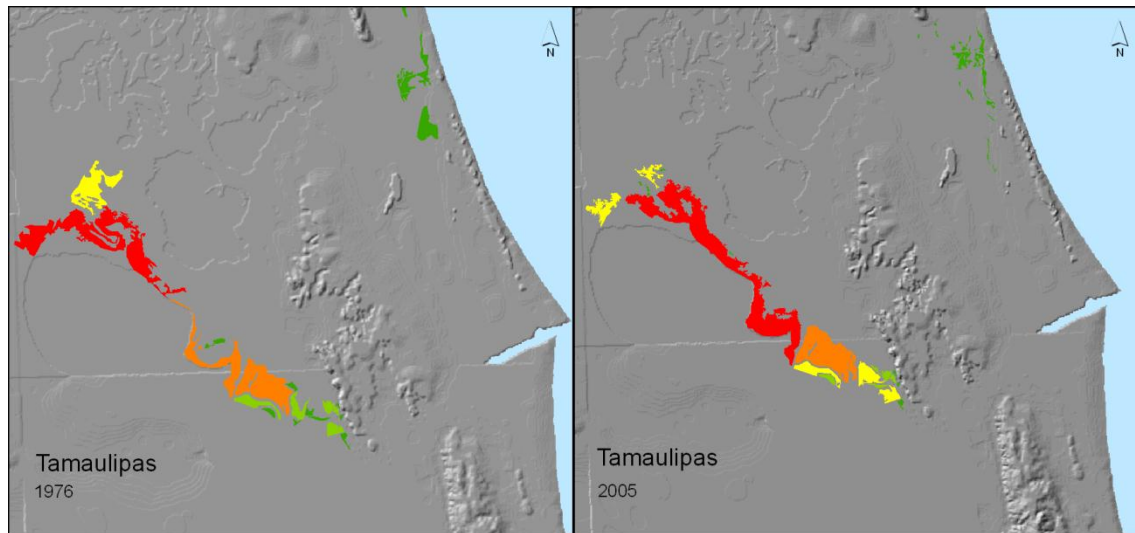


Figura 3.6. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Tamaulipas.

Simbología: Rojo = Muy alto, Naranja = Alto, Amarillo = Medio, Verde claro = Bajo y Verde oscuro = Muy bajo, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua.

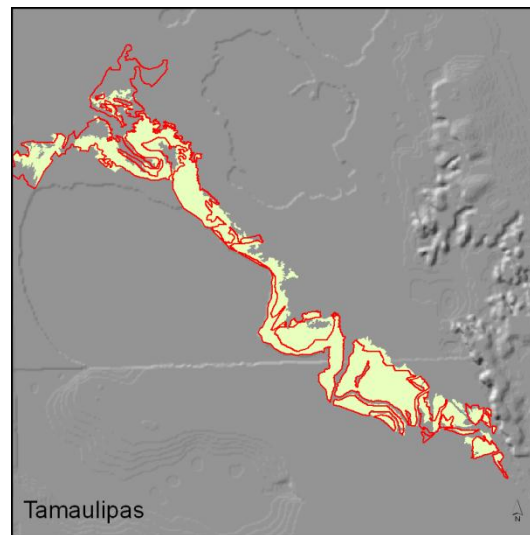


Figura 3.7. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Tamaulipas.

Simbología: Contorno rojo = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1, Verde = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 2, Gris: Porción terrestre.

Veracruz

Validación mapa 2005

La evaluación de la exactitud del mapa de uso del suelo y vegetación del 2005 de Veracruz se obtuvo a partir de 502 fotografías aéreas digitales de alta resolución, además de 1,595 puntos obtenidos por otras instituciones (ver sección de materiales y métodos) por lo que en total se obtuvieron 2,097 puntos, de los cuales se presenta la evaluación de 1,864 correspondientes a las cuatro clases evaluadas. La exactitud global del mapa de uso del suelo y vegetación para el mapa Fecha 2 de Veracruz resultó en 79.13% (Tabla 3.9) con un índice de Kappa de 0.56. Sin embargo, al calcular la exactitud con la matriz ponderada con la superficie de cada clase en el mapa, para evitar el sesgo provocado por el tipo de muestreo seleccionado, la exactitud global estimada disminuyó a 68.17% (Tabla 3.10), y el índice de Kappa resultó en 0.40.

Tabla 3.9. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Veracruz.

		Veracruz					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
		Datos de referencia						
		2.- Agrícola- Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	1225	47	1	11	1284	4.60	95.40
	3.- Otra vegetación	134	35	5	9	183	80.87	19.13
	5.- Manglar	8	3	158	5	174	9.20	90.80
	7.- Otros humedales	144	20	2	57	223	74.44	25.56
	Total	1511	105	166	82	1864	Exactitud Global %	
Error de Omisión %		18.93	66.67	4.82	30.49	79.13		
Exactitud Productor %		81.07	33.33	95.18	69.51			
^K		0.56						

Tabla 3.10. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Veracruz, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

Veracruz, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.								
		Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
		2.- Agrícola- Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	52.81	2.03	0.04	0.47	55.35	4.60	95.40
	3.- Otra vegetación	14.10	3.68	0.53	0.95	19.26	80.87	19.13
	5.- Manglar	0.37	0.14	7.23	0.23	7.96	9.20	90.80
	7.- Otros humedales	11.25	1.56	0.16	4.45	17.43	74.44	25.56
	Total	78.53	7.41	7.95	6.10	100	Exactitud Global %	
Error de Omisión %		32.75	50.29	9.13	27.03	68.17		
Exactitud Productor %		67.25	49.71	90.87	72.97			
^K		0.40						

Analizando la matriz de confusión ponderada por área, se observa que las clases mejor representadas en el mapa son *Manglar* y *Agrícola-pecuario*, con confusiones con la clase *Otros humedales* en el primer caso y con *Otra vegetación* para la *Agrícola-pecuaria*. Existe un importante grado de confusión para la clase *Otra vegetación*, ya que se confunde con áreas agrícola-pecuarias, debido principalmente a que áreas de uso ganadero presentan diversas especies arbóreas para dar sombra al ganado, lo cual impide la correcta asignación de clase con técnicas de percepción remota y en zonas que son de uso agrícola, muchas veces la vegetación secundaria en campos abandonados o en descanso produce la confusión en la asignación de clases. La clase *Otros humedales* presenta un error de comisión del 74.44%, siendo estas áreas en realidad *áreas Agrícola-pecuarias*.

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para 1976 (Fecha 1) y 2005 (Fecha 2) de Veracruz, estos se presentan en la Figura 3.8 y en la Tabla 3.11, así como en el Anexo 1, Mapas 5 al 8.

Para el estado de Veracruz, el área de estudio es de 687,561.7 ha, que representa el 7.99% del total nacional. La distribución de tipos de coberturas en la fecha inicial mostraba dos coberturas terrestres dominantes: *Agrícola-pecuaria*, *Otra vegetación*, y *Otros humedales* sumando el 67% de superficie del área de estudio. Para el año 2005, la distribución de dominancia se mantiene para las mismas, sumando el 66% de la cobertura.

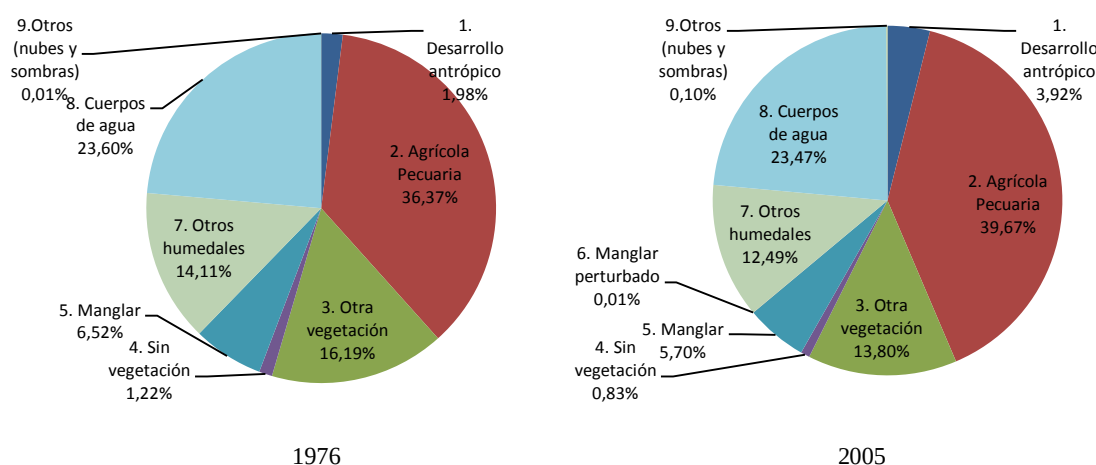


Figura 3.8. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Veracruz en los años 1976 y 2005.

Tabla 3.11. Extensión del uso del suelo y vegetación en Veracruz (1976-2005).

Clase	1976		2005		+/- Netas	r (%)
	Ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	13,620.6	1.98	26,930.3	3.92	13,309.7	2.38
2.- Agrícola - Pecuaria	250,096.6	36.37	272,779.4	39.67	22,682.8	0.19
3.- Otra vegetación	111,316.5	16.19	94,916.5	13.80	-16,400.0	-0.36
4.- Sin vegetación	8,374.7	1.22	5,690.7	0.83	-2,684.0	-0.58
5.- Manglar	44,819.8	6.52	39,210.7	5.70	-5,609.1	-0.35
6.- Manglar perturbado	3.7	0.00	92.5	0.01	88.8	9.88
7.- Otros humedales	96,991.6	14.11	85,884.7	12.49	-11,106.9	-0.68
8.- Cuerpos de agua	162,264.1	23.60	161,351.3	23.47	-912.8	-0.02
9.-Otros (nubes y sombras)	74.1	0.01	705.6	0.10	n.a.	n.a.
Total	687,561.7	100.00	687,561.7	99.99		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

En términos de superficie total, para cada clase es posible apreciar un incremento de área para *Desarrollo antrópico* así como una reducción para la clase *Otra vegetación*, *Otros humedales* y *Manglares*. Para este periodo de análisis se estableció un total de 133,605 ha que tuvieron cambio de una categoría a otra, lo que representa el 19.45% del área de estudio (Tabla 3.12). De estos cambios, en cuanto a superficie, uno de los más notorios es el que se refiere al intercambio de superficie entre las clases *Otra vegetación* y *Agrícola-*

pecuaria, toda vez que los cambios suman 69,127 ha, que representan casi el 52% de los cambios totales (con una ganancia neta final de 18,086 ha de la clase *Agrícola-pecuaria*).

Otros cambios importantes debido a la superficie que representan, son los siguientes: *Otros humedales* a *Agrícola-pecuaria*, *Otros humedales* a *Otra vegetación* y *Agrícola-pecuaria* a *Desarrollo antrópico*, los cuales representan respecto al total de superficie de cambio 8.5%, 5.6% y 4.7% respectivamente.

Las tasas de transformación mostradas en la Tabla 3.11, señalan que la clase *Sin vegetación* y la clase *Otros humedales* fueron las que tuvieron las pérdidas más importantes en su tipo de cobertura ($r = -0.58\%$ y -0.68% anual respectivamente). Por otro lado la cobertura *Manglar perturbado* presentó el mayor crecimiento con una tasa de cambio de 9.88% anual, sin embargo, esta clase representa menos del 0.1% de la cobertura total del área en las dos fechas de estudio.

La clase *Desarrollo antrópico* presentó una tasa de cambio de 2.38% anual, la cual se debió principalmente al crecimiento de las principales cabeceras municipales como Ciudad Cuauhtémoc, Tuxpan, Tecolutla, Gutiérrez Zamora, Nautla, Vega de la Torre, Veracruz, Alvarado, Tlacotalpan, Coatzacoalcos y Agua Dulce. Las clases que perdieron superficie por este cambio, fueron principalmente *Agrícola-pecuaria*, *Otra vegetación* y *Otros humedales*, las cuales perdieron en conjunto 12,838 ha, que representan 92% de la ganancia total de la clase *Desarrollo antrópico* en la fecha final.

Cabe resaltar que para este periodo de análisis la cobertura de *Manglar* tuvo una pérdida neta de 5,609 ha, lo que significa una disminución de 12.5% de la superficie original y una tasa de cambio de -0.35% anual.

Los resultados obtenidos de la Estabilidad de Localización (EL), ver Tabla 3.12, muestran que las categorías *Otra vegetación* y *Sin vegetación* fueron las que menores valores, con 51.43% y 55.18% respectivamente. Cabe mencionar que para la Estabilidad de Residencia (ER), estas mismas dos categorías presentan los valores más bajos (*Otra vegetación* con -14.52% y *Sin vegetación* con -32.05%). Para el caso de *Manglar* los valores obtenidos en EL (76%) y ER (-13%) nos indican que los manglares desaparecieron de sus superficies originales casi en un 13%, con una pérdida de 5,609 ha.

Las zonas de manglar que cambiaron hacia otro tipo de vegetación en el 2005 (Figura 3.9), lo hicieron principalmente hacia las coberturas de *Otros humedales* (54.61%), seguido por *Otra vegetación* (28.35%) y *Agrícola-pecuaria* (10.29%).

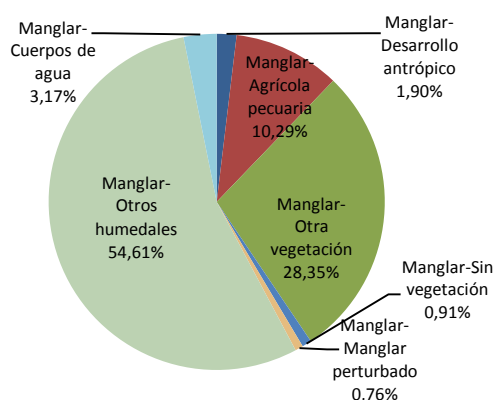


Figura 3.9. Distribución de los cambios de la clase *manglar* en el área de estudio en el estado de Veracruz durante el periodo 1976 – 2005.

Las áreas que no eran manglares en el mapa Fecha 1 y que para el mapa Fecha 2 pasaron a esta clase corresponden a *Otros humedales* (77.31%), seguidas por áreas con *Cuerpos de agua* (9.62%) *Agrícola-pecuaria* (9.07%) y *Otra vegetación* (3.50%).

No obstante de la importancia ecológica de los manglares, de acuerdo con Moreno *et al.* (2002), el proceso de conversión de áreas para el desarrollo de actividades productivas es cada vez más intenso y ha llevado al deterioro, así como a la pérdida definitiva de valiosos recursos naturales y de funciones ecológicas. Entre las causas de deterioro del manglar se puede señalar la explotación forestal irracional, la modificación de la hidrología por desviaciones de los cauces fluviales, la sustitución de áreas de manglar por obras de acuacultura o de infraestructura turística, entre otras. La falta de planes de manejo para estos tipos de vegetación y la limitada planificación y ordenamiento de actividades productivas y el desconocimiento o dificultad para determinar el valor ecológico y económico de los bienes, atributos y servicios que proporcionan estos ambientes son también causas importantes de su desaparición. El aumento en la frontera agropecuaria, principalmente del cultivo de caña de azúcar, la ganadería bovina y las prácticas forestales han influido en la pérdida de vegetación costera, entre ella el bosque de manglar. Otro impacto ambiental asociado con la práctica de la agricultura y ganadería de tierras bajas, es la contaminación por agroquímicos en suelos, ríos, lagunas costeras, estuarios y organismos.

Las superficies de manglares que han cambiado a otras coberturas como se muestra en el gráfico de distribución de cambios en el periodo 1976-2005 (Figura 3.9), principalmente para las clases de *Otros humedales*, *Otra vegetación* y *Agrícola-pecuaria*, se asumirían desde diferentes orígenes. Los cambios más sustanciales en el estado de Veracruz, se observan en el sistema Lagunar Alvarado, localizado en el municipio de Alvarado, donde se observan los cambios de *Manglar* a *Otros Humedales* y a *Otra Vegetación* (Figuras 3.10 y 3.11).

Unas de las principales causas de la reducción de la superficie de manglar, es la constante tala clandestina con la extracción no controlada de madera y el cambio de uso de suelos para el establecimiento de pastizales (Portilla *et al.* 2005, Rodríguez-Zúñiga *et al.* 2011). Para el área de Alvarado se tienen como referencia dos estudios, uno desarrollado por Rodríguez-Zúñiga (2002), en el cual determina que en un periodo de 27 años (1973-2000), la cobertura de manglar pasó de 19,991 a 13,045 y el segundo estudio el de Vázquez (2008), en el que reporta que la cobertura de la comunidad de manglar paso de 19,507 ha en 1973 a 13,807 ha, en 2006. En este último estudio, se registró que la cobertura de pastizal fue la que presentó un incremento mayor al 80% de la cobertura original en 1973, afectando principalmente a coberturas como otro tipo de vegetación y manglar. Para el año 2006, 24.2% de la cobertura de manglar fue convertida a pastizal (4,737 ha). De acuerdo con la evaluación de cambios en las coberturas del suelo en zona, el crecimiento de los pastizales fue la principal causa de la perdida de cobertura de manglar. Los sitios más afectaos por el crecimiento de los pastizales se ubicaron sobre el Río Acula y alrededor de las lagunas El Embarcadero y El Coyol.

Dentro de los impactos que reducen la superficie de los manglares se encuentran el derrame de hidrocarburos, dragado del Río Coatzacoalcos y la alteración del flujo hidrológico. Otras áreas donde se pueden ver los cambios de *Manglar* por otras coberturas como *Desarrollo antrópico*, *Agrícola-pecuario*, *Otra vegetación* y *Otros humedales*, es en la zona donde se encuentran Coatzacoalcos e Ixhuatlán del Sureste, donde se encuentra la desembocadura del Río Coatzacoalcos (Figuras 3.12 y 3.13).

Otro sitio importante por la pérdida de *Manglar* es la Laguna Ostión, donde este tipo de cobertura se ha visto afectada por la tala clandestina y la sustitución del uso del suelo principalmente por *Otra vegetación* y zonas *Agrícola-pecuarias* (Figuras 3.14 y 3.15).

El análisis de probabilidades de cambio (Tabla 3.13) nos muestra que el intercambio entre las clases *Otra vegetación* y *Agrícola-pecuaria*, presenta los dos valores más altos de todas las obtenidas (6.35% para *Otra vegetación* a *Agrícola-pecuaria* y 3.72% para *Agrícola-pecuaria* a *Otra vegetación*). También podemos indicar que el cambio de *Otros humedales* está proyectado hacia zonas de *Desarrollo antrópico* (1.64%). En el caso de manglar la tendencia es mayor de un cambio de las coberturas de *Otros humedales* y *Otra vegetación* hacia manglares que de este ecosistema a los anteriores. Es decir que si la tendencia continúa se espera una mayor pérdida de superficie de manglar a futuro.

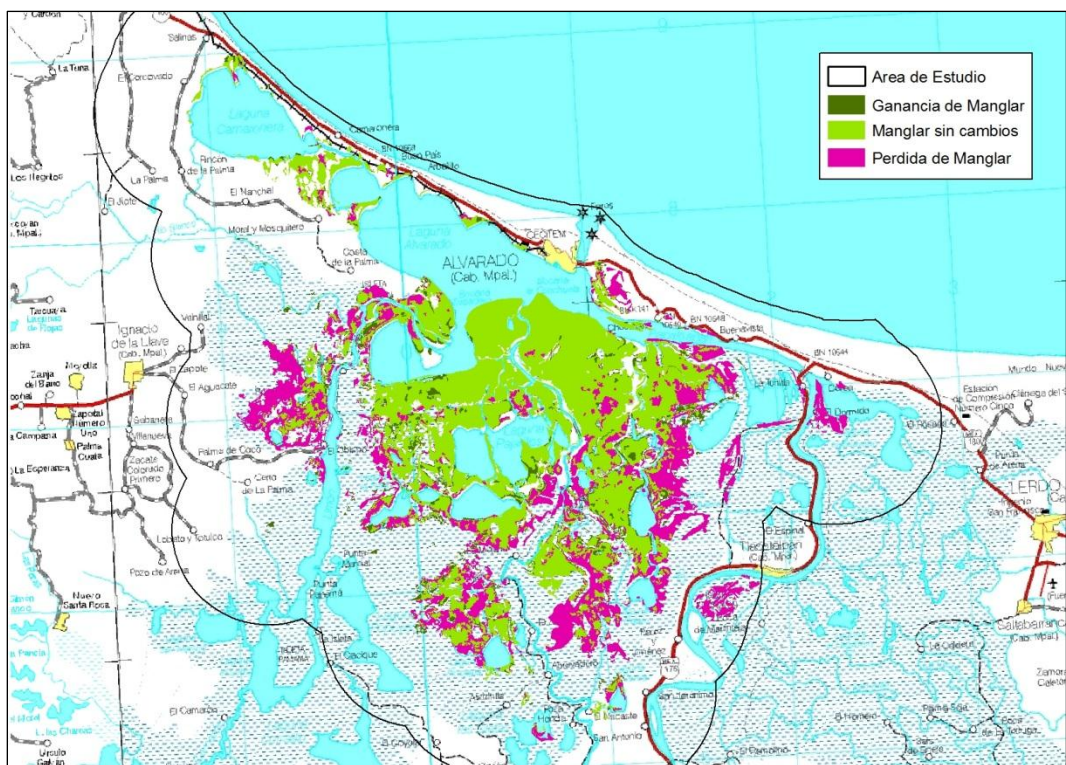


Figura 3.10. Sistema lagunar de Alvarado, Veracruz. Se muestran las ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1976-2005.

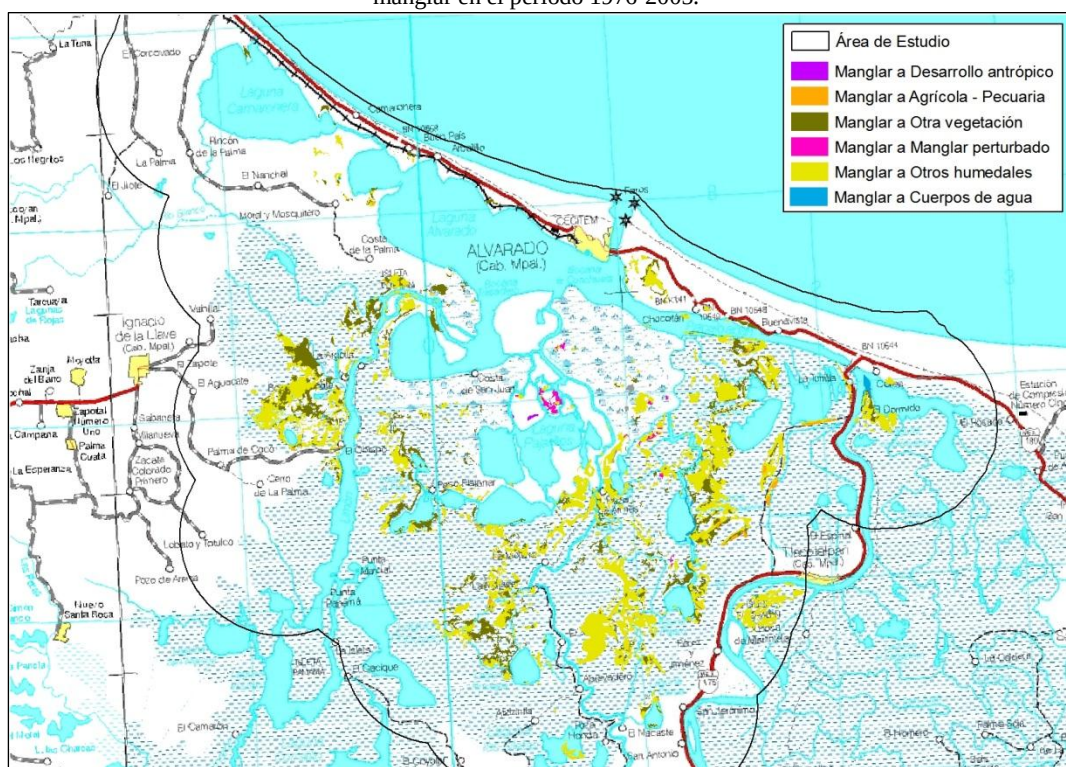


Figura 3.11. Sistema lagunar de Alvarado, Veracruz. Tipos de pérdida en la cobertura de manglar en el periodo 1976-2005.

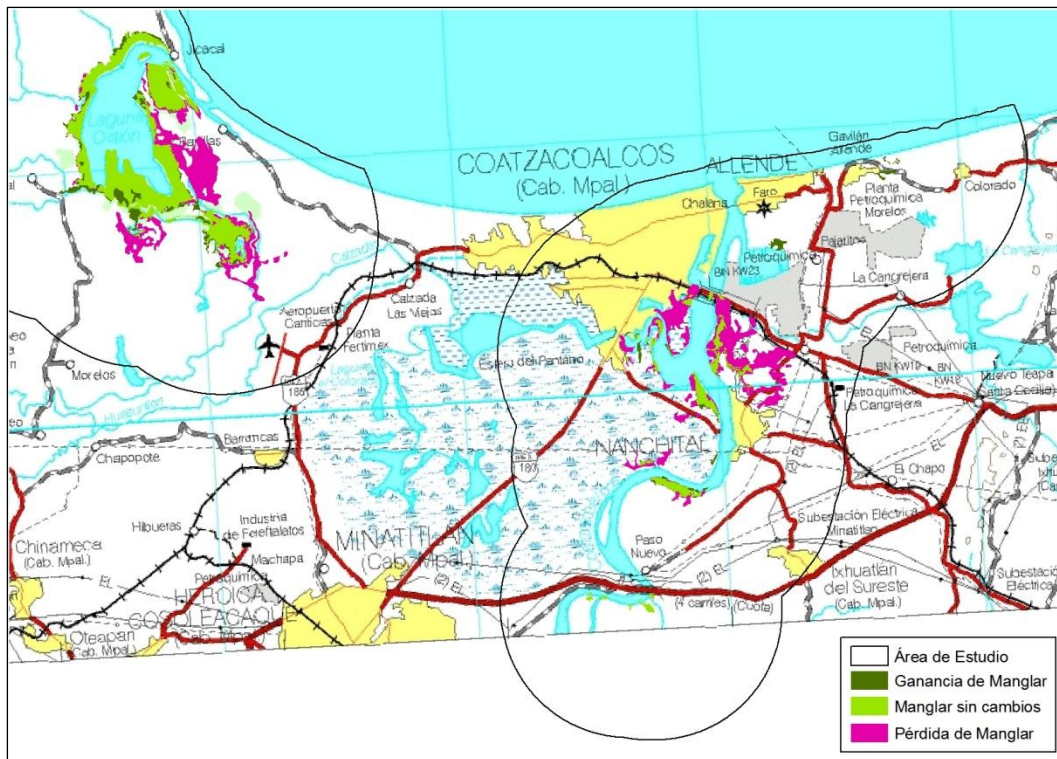


Figura 3.12. Desembocadura del Río Coatzacoalcos, Veracruz. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1976-2005.



Figura 3.13. Desembocadura del Río Coatzacoalcos, Veracruz. Tipos de pérdida en la cobertura de manglar en el periodo 1976-2005.

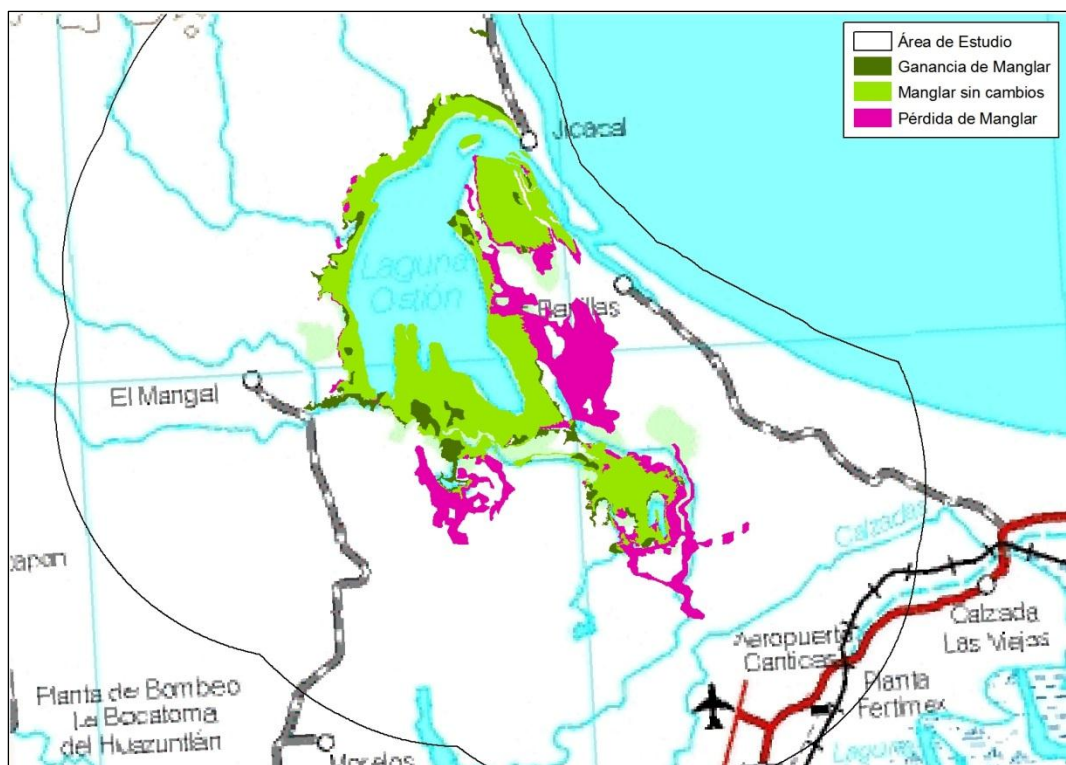


Figura 3.14. Laguna Ostión, Veracruz. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1976-2005.

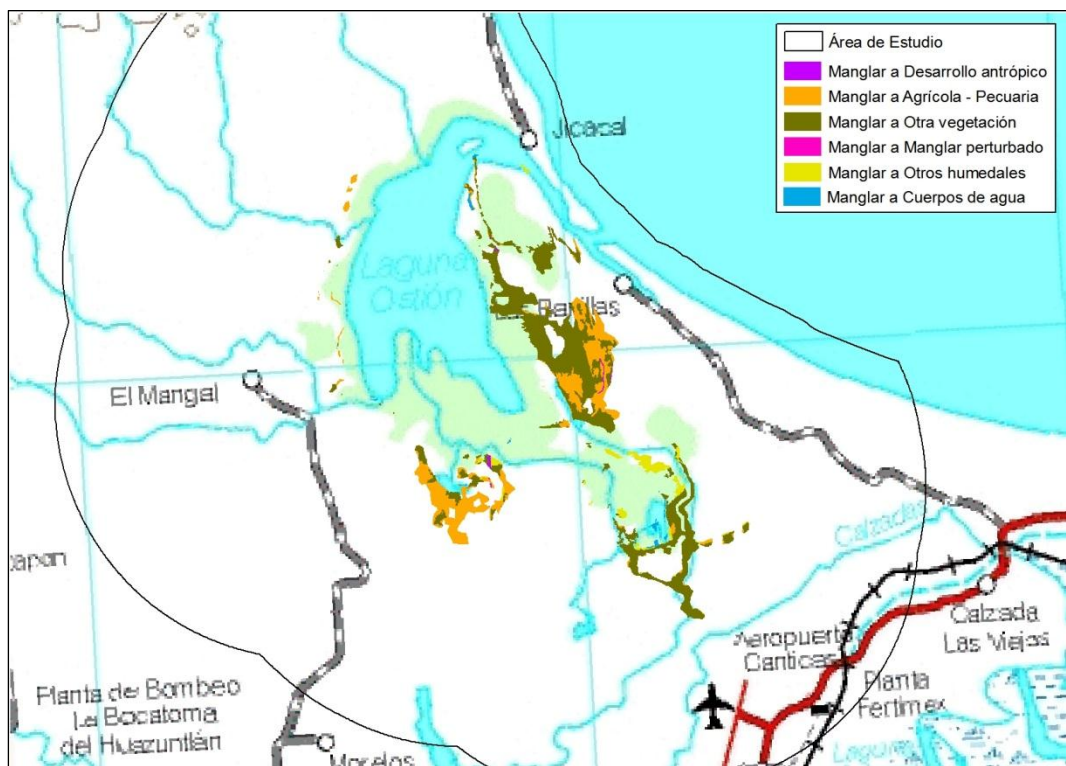


Figura 3.15. Laguna Ostión, Veracruz. Tipos de pérdida en la cobertura de manglar en el periodo 1976-2005.

Tabla 3.12. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Veracruz (1976-2005).

Tabla 5.12. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Veracruz (1976-2005).										
Mapa 1976										
	Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	13,019.3	6,284.5	4,438.4	674.3	204.4	0.0	2,114.8	194.6	26,930.3
	2.- Agrícola - Pecuaria	464.4	214,572.4	43,606.2	1,184.1	1,107.0	0.0	11,285.1	556.4	272,775.6
	3.- Otra vegetación	91.0	25,520.5	57,104.6	1,209.6	3,051.0	0.0	7,529.9	400.3	94,906.9
	4.- Sin vegetación	2.3	152.2	335.7	4,621.0	97.9	0.0	151.7	329.9	5,690.7
	5.- Manglar	0.3	467.2	180.3	25.3	34,059.7	0.0	3,982.3	495.6	39,210.7
	6.- Manglar perturbado	0.0	0.0	0.0	0.0	82.3	3.7	6.5	0.0	92.5
	7.- Otros humedales	12.7	2,177.3	4,994.9	93.6	5,876.5	0.0	71,157.2	1,572.5	85,884.7
	8.- Cuerpos de agua	28.3	622.6	370.4	566.8	341.0	0.0	722.6	158,699.6	161,351.3
	Total 1976	13,618.3	249,796.7	111,030.5	8,374.7	44,819.8	3.7	96,950.1	162,248.9	686,842.7
	EL %	95.60	85.90	51.43	55.18	75.99	0.00	73.40	97.81	
	ER %	97.75	9.20	-14.52	-32.05	-12.51	2,400.00	-11.41	-0.55	

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9, la cual podría presentar sobreposición en ambas fechas. Cartografía digital relacionada: VER_CC_ccl.shp y VER_CM_ccl.shp.

Tabla 3.13. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Veracruz (1976-2005).

Tabla 5.125. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Veracruz (1976-2005).										
		Mapa 1976								
	Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	1.90	0.91	0.65	0.10	0.03	0.00	0.31	0.03	3.93
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.07	31.24	6.35	0.17	0.16	0.00	1.64	0.08	39.71
	3.- Otra vegetación	0.01	3.72	8.31	0.18	0.44	0.00	1.10	0.06	13.82
	4.- Sin vegetación	0.00	0.02	0.05	0.67	0.01	0.00	0.02	0.05	0.82
	5.- Manglar	0.00	0.07	0.03	0.00	4.96	0.00	0.58	0.07	5.71
	6.- Manglar perturbado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
	7.- Otros humedales	0.00	0.32	0.73	0.01	0.86	0.00	10.36	0.23	12.51
	8.- Cuerpos de agua	0.00	0.09	0.05	0.08	0.05	0.00	0.11	23.11	23.49
Total 1976		1.98	36.37	16.17	1.21	6.52	0.00	14.12	23.63	100.00

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Patrones e índices espaciales

Los resultados del cálculo de los diferentes índices aplicados a la distribución de manglares en el estado de Veracruz en el periodo 1976-2005 se muestran en la Tabla 3.14. El área de manglar disminuyó en 5,609 ha, el número de parches en la Fecha 2 es mayor que en la Fecha 1; este patrón sigue lo esperado en términos generales, ya que se asume que a mayor fragmentación existirá un mayor número de parches. La disminución del área total de manglar por cambios de uso del suelo causó la fragmentación de la cobertura de manglar. También se registró la aparición de nuevos parches de manglar en zonas que no existían en la Fecha 1 lo que hizo que se incrementara este número.

Tabla 3.14. Atributos e índices de la clase manglar en el estado de Veracruz.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM (%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	IF	IIC
F1	44,820	874	27.58	51.28	0.10	0.37	0.64	80.69	0.006
F2	39,211	1,080	22.48	36.31	0.10	0.40	0.67	53.87	0.004

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; NP: Número de Parches; IPM: Índice de Parche Mayor; AP: Área promedio de los parches; IA_L: Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; IA_S: Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; R_c: Dispersión de parches; IF: Índice de fragmentación; IIC: Índice Integral de conectividad.

En negrillas se muestra el valor más alto.

La dominancia del parche de manglar con mayor superficie (27.6) fue más alta en 1976 que en 2005 (22.5). Esta disminución se explica principalmente por el cambio de uso de suelo debido a actividades agropecuarias en la zona de Alvarado.

Además de la disminución del área total y el incremento en el número de parches se registró la reducción del área promedio de los parches (Tabla 3.14). El valor de diferencia para el AP entre las dos fechas fue de 18.6 ha y fue estadísticamente significativo ($p = 0.00004$; $Z = 4.093$).

Aproximadamente 71% de los parches estimados en este análisis presentan un tamaño entre 1 a 10 hectáreas en las dos fechas. El 90% de los fragmentos se encuentran fuertemente sesgados a un tamaño menor a 75 hectáreas para la Fecha 1 y a un tamaño menor a 49 ha para la Fecha 2. En contraste, sólo 70 (Fecha 1) y 66 (Fecha 2) parches fueron determinados con superficies mayores a 100 ha (Figura 3.16). En esta categoría sobresale un parche mayor a 3,200 ha en la Fecha 1 el mismo que fue perdiendo superficie a través del tiempo, lo cual resultó en un parche más pequeño de aproximadamente 3,044 ha para la Fecha 2.

En esta región el índice de amenaza por longitud de frontera permaneció con un valor de 0.10 en las fechas de análisis. Por otra parte, el índice de amenaza por área se incrementó ligeramente de 0.37 a 0.40. De la Fecha 1 a la Fecha 2, con los niveles de amenaza descritos se registraron pérdidas en el área de manglar y en general un incremento en la fragmentación del paisaje. De mantenerse esta tendencia y de no modificarse el marco de condiciones sociales y de desarrollo económico, se espera una reducción significativa de los manglares en Veracruz.

El valor de dispersión de parches (R_c), indica que los parches de manglar para ambas fechas ($R_c < 1$), presentaron una distribución de forma agregada en el área de estudio. El índice de fragmentación (IF) registró un menor valor, en la Fecha 2 (53.9) en relación con la Fecha 1 (80.7) lo que nos indica que existió un proceso de fragmentación de origen antrópico en la cobertura de manglar. La disminución de la extensión de los manglares de Veracruz por cambio de uso del suelo y el incremento en el número de parches de manglar refuerza esta afirmación.

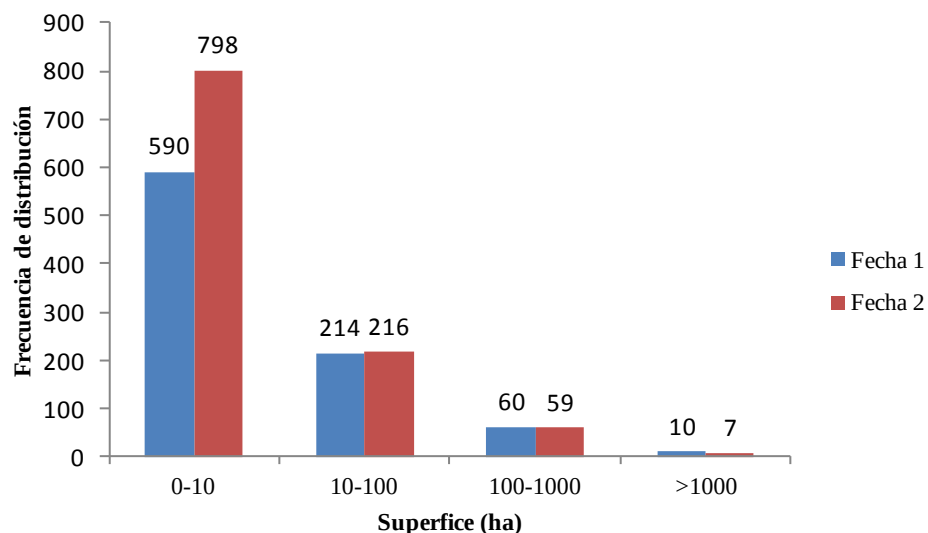


Figura 3.16. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Veracruz.

De los 874 parches de manglar observados en la Fecha 1 en el estado de Veracruz cinco de ellos (en total 10,750 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) *Alto* y *Muy Alto*. Los resultados fueron similares en la Fecha 2 se conservó el mismo número de parches (en total 10,791 ha) con valor de IIC relevante, pero con un mayor número de parches. Cabe señalar que la mayoría de estos parches se encuentran en el Sistema Lagunar de Alvarado (Figura 3.17 y Mapas 3 y 4 del Anexo 2).

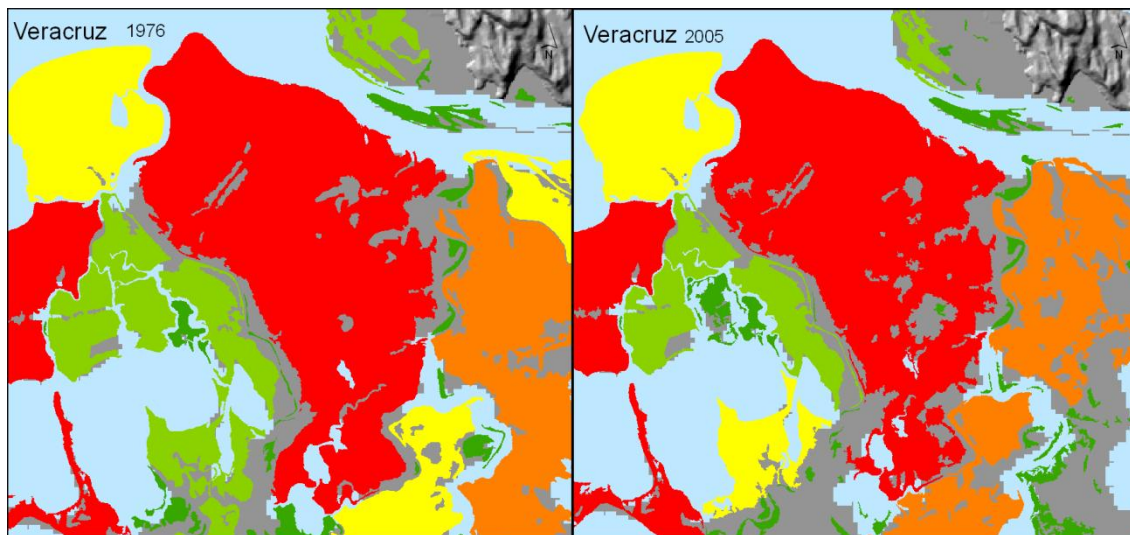


Figura 3.17. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis, en el estado de Veracruz

Simbología: Rojo = Muy alto, Naranja = Alto, Amarillo = Medio, Verde claro = Bajo y Verde oscuro = Muy bajo, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua

La superficie del parche con valor más alto de IIC para la Fecha 1 fue de 3,256 ha, mientras que para la Fecha 2, la superficie del parche con valor más alto de IIC fue de 3,044 ha (Figura 3.18). Se registró una pérdida de 212 ha de la superficie total de manglar del parche con mayor valor de IIC, lo cual sugiere posibles procesos de deforestación, principalmente en la parte sureste del parche, mismas que se deben

revertir en el corto plazo, para evitar la reducción en la conectividad del sistema. El total de la superficie con un IIC Muy alto o Alto incrementó 41 ha.

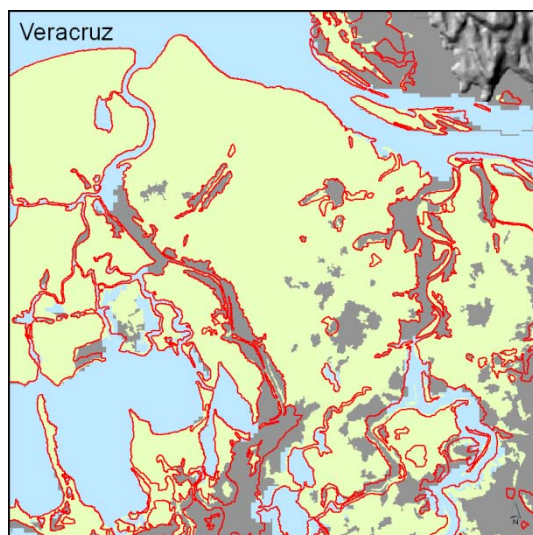


Figura 3.18. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Veracruz.

Simbología: Contorno rojo = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1, Verde = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 2, Gris: Porción terrestre, Azul = Agua.

Tabasco

Validación mapa 2005

La evaluación de la exactitud del mapa de uso del suelo y vegetación del 2005 (mapa Fecha 2) de Tabasco se obtuvo a partir de 288 fotografías aéreas digitales de alta resolución, además de 884 puntos de verificación de las otras instituciones (ver sección de materiales y métodos). La exactitud global del mapa de uso del suelo y vegetación para el mapa Fecha 2 de Tabasco resultó en 69.88% (Tabla 3.15) con un coeficiente de Kappa ponderado de 0.49. Sin embargo, al calcular la exactitud con la matriz ponderada con la superficie de cada clase en el mapa, evitando el sesgo provocado por el tipo de muestreo seleccionado, la exactitud global estimada disminuyó considerablemente a 49.40 % (Tabla 3.16) y el índice de Kappa resultó en 0.30.

Tabla 3.15. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Tabasco.

		Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
		2.- Agrícola- Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	620	7	1	7	635	2.36	97.64
	3.- Otra vegetación	44	10	1	3	58	82.76	17.24
	5.- Manglar	17	6	100	3	126	20.63	79.37
	7.- Otros humedales	243	10	11	89	353	74.79	25.21
	Total	924	33	113	102	1172	Exactitud Global %	
Error de Omisión %		32.90	69.70	11.50	12.75	69.88		
Exactitud Productor %		67.10	30.30	88.50	87.25			
^K		0.49						

Tabla 3.16. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Tabasco, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

Tabales, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.								
		Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
		2.- Agrícola- Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	24.14	0.27	0.04	0.27	24.73	2.36	97.64
	3.- Otra vegetación	5.67	1.29	0.13	0.39	7.47	82.76	17.24
	5.- Manglar	1.71	0.60	10.08	0.30	12.70	20.63	79.37
	7.- Otros humedales	37.93	1.56	1.72	13.89	55.10	74.79	25.21
	Total	69.45	3.73	11.97	14.85	100	Exactitud Global %	
Error de Omisión %		65.24	65.43	15.75	6.47	49.405		
Exactitud Productor %		34.76	34.57	84.25	93.53			
^K		0.305						

La exactitud para la clase *Otra vegetación*, es bastante baja tanto para el usuario como para el productor. Las confusiones de *Otra vegetación* suceden particularmente con *Otros humedales*, pero también con las otras dos clases. Para el caso de *Otros humedales*, se observa un elevado índice de confusión con usos agrícola-pecuarios, indicando que un gran porcentaje de lo clasificado como *Otros humedales* es probablemente *Agrícola-pecuario*. Por otro lado, los *Otros humedales* tienen una exactitud del productor del 93.53% indicando que lo que son *Otros humedales* estará correctamente clasificado en el mapa.

Los manglares registraron índice de error relativamente bajos, con un error de omisión del 15.75% confundidos con *Otros humedales* y de comisión del 20.63% confundiéndose particularmente con usos *Agrícola-pecuario*.

La clase *Agrícola-pecuario* tiene un nivel de error del 65.24% en omisión y de apenas 2.36% en la comisión. Esto indica que un gran porcentaje de las áreas agrícola-pecuarias fueron omitidas, confundidas con *Otros humedales* debido a la respuesta espectral de las variaciones estacionales de inundación y edáficas de la zona de estudio con *Otros humedales*, especialmente cuando se utilizaron las imágenes SPOT con fechas de época de lluvia.

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para 1972 (Fecha 1) y 2005 (Fecha 2) de Tabasco, estos se presentan en la Figura 3.19 y en la Tabla 3.17, así como en el Anexo 1, Mapas 9 al 12.

Para el estado de Tabasco, el área de estudio es de 478,049 ha, que representa el 5.55% del total nacional. En el año inicial las mayores coberturas terrestres son representadas por las clases de *Otros humedales*, *Agrícola-pecuaria* y *Otra vegetación*, con el 51.59%, 16.76% y 9.82% respectivamente; el *Manglar* cubrió el 8.79%.

Para el año 2005 estas dominancias permanecieron para las clases *Otros humedales* y *Agrícola-pecuaria* con el 48.94% y 19.83%, la clase *Otra vegetación* sufrió pérdidas en una superficie de 16,362 ha, que corresponde a una tasa anual de cambio (r) de -1.03, en tanto que la cobertura de *Manglar* tuvo una ganancia neta de 2,983 ha, que corresponde a una tasa anual de cambio positiva de 0.22.

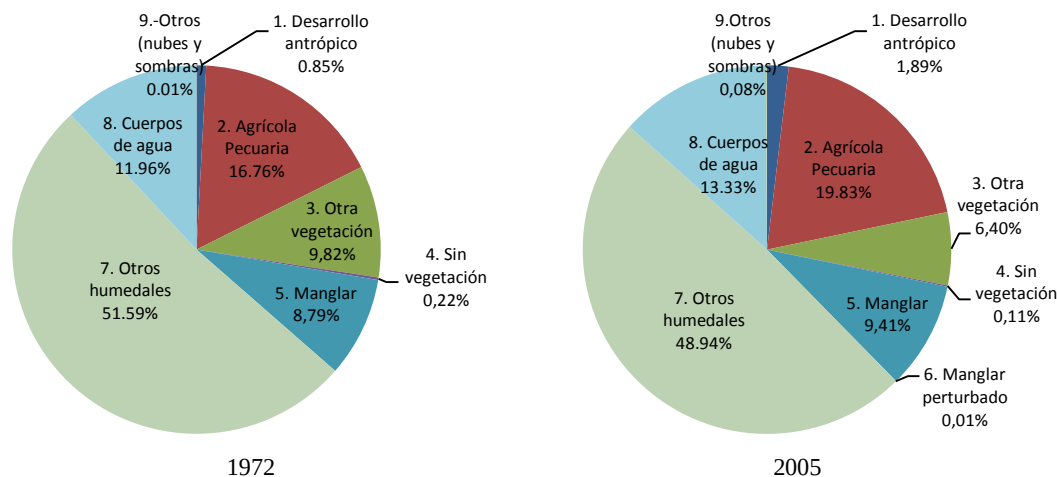


Figura 3.19. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Tabasco en los años 1972 y 2005.

La clase que presentó la mayor tasa de cambio anual positiva fue la de *Desarrollo antrópico* con un valor de 2.84% (Tabla 3.17), mientras que la clase *Sin vegetación* tuvo la mayor tasa de cambio negativa ($r=-1.92\%$) en el periodo de estudio, la disminución de su superficie en 512 ha, fundamentalmente se debió a procesos de modificación de la línea de costa, lo cual en este estudio ha sido registrado en este y otros lugares como la línea de costa de Campeche.

Uno de los cambios más importantes registrados en el estado de Tabasco, fue el aumento en la superficie cubierta por manglares, misma que se dio paulatinamente. Entre 1970 y 1986, al sur de la Laguna

Machona ocurrieron cambios positivos en la superficie cubierta por manglar, debidos a la apertura de la boca de Panteones en 1984 y la salinización de tierras al sur de dicha laguna (Moreno 2011 com. pers.), además de la apertura de otras bocas y canales en el área (Zavala y Castillo 2003). Estos incrementos se pueden observar en la Figura 3.20, mientras que en la Tabla 3.18 se observa que la ganancia en superficie de *Manglar* se dio principalmente en coberturas con *Otros humedales* (4,830 ha).

Tabla 3.17. Extensión del uso del suelo y vegetación en Tabasco (1972-2005).

Clase	1972		2005		+/- Netas	r (%)
	ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	4,037.3	0.85	9,034.3	1.89	4,997.0	2.84
2.- Agrícola - Pecuaria	80,141.3	16.76	94,806.8	19.83	14,665.5	0.60
3.- Otra vegetación	46,936.3	9.82	30,574.4	6.40	-16,361.9	-1.03
4.- Sin vegetación	1,054.0	0.22	541.7	0.11	-512.3	-1.92
5.- Manglar	41,999.3	8.79	44,982.0	9.41	2,982.7	0.22
6.- Manglar perturbado	0.0	0.00	36.2	0.01	36.2	n.a.
7.- Otros humedales	246,639.1	51.59	233,942.7	48.94	-12,696.4	-0.19
8.- Cuerpos de agua	57,174.2	11.96	63,735.5	13.33	6,561.3	0.33
9.-Otros (nubes y sombras)	67.0	0.01	394.9	0.08	n.a.	n.a.
Total	478,048.5	99.99	478,048.5	100.00		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.



Figura 3.20. Laguna Machona, Tabasco. Ganancias y pérdidas en la cobertura de Manglar en el periodo 1972 - 2005.

No obstante, aunque existe un incremento en la superficie neta cubierta por manglares en el estado de Tabasco de 2,983 ha ($r = 0.22$) en el periodo de estudio, también existen áreas severamente afectadas, en las que la disminución de este tipo de vegetación fue muy marcada, tal es el caso de los manglares del sistema lagunar contiguo a la laguna de Mecocacán, en la que aproximadamente 4,300 ha de los manglares fueron sustituidos principalmente por *Otros humedales*, probablemente debido a procesos naturales y a la apertura de bocas y canales en el área por actividades petroleras (Figuras 3.21 y 3.22). Existe la posibilidad de que una gran parte de estas áreas sean ocupadas temporalmente para actividades pecuarias.

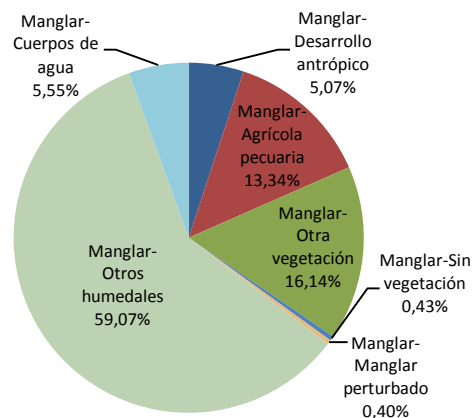


Figura 3.21. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Tabasco durante el periodo 1972 – 2005.



Figura 3.22. Laguna Santa Anita, Tabasco. Áreas con mayor pérdida de manglar en el periodo 1972 - 2005.

Como se observa en la Tabla 3.18, el incremento de la clase *Desarrollo antrópico* fue a expensas de las clases *Otra vegetación*, *Otros humedales* y *Agrícola-pecuaria*, debido a la construcción de caminos y carreteras. Como documentan Zavala y Castillo (2003) el proceso de degradación de la clase *Otra vegetación* ha ocurrido en zonas como los cordones litorales de la costa noroeste y las llanuras fluviales bajas del campo Samaria, ambas zonas con campos petroleros.

Los resultados obtenidos de la Estabilidad de Localización (EL), muestran que de las dos coberturas naturales del suelo empleadas en este estudio (*Otros humedales* y *manglar*), la clase *Otros humedales* fue la que presentó mayor porcentaje (87.21%). En el cálculo de la Estabilidad de Residencia (ER), la cobertura de *Desarrollo antrópico* fue la que obtuvo una mayor razón de cambio (123.69%). La clase que presentó el índice más bajo de la EL fue la cobertura *Sin vegetación*, indicando de esta manera su mayor susceptibilidad a transformarse en otras coberturas, lo cual se ve reforzado con la obtención más baja de la ER (-48.61%). También se observa que el valor obtenido para la EL en la cobertura *Agrícola-pecuaria* es el más alto (88.88%), lo cual puede indicarnos que las actividades agropecuarias no sufrieron muchos cambios en el periodo de análisis.

Cabe señalar que la EL de la clase *Desarrollo antrópico* obtuvo un valor de 85.48%, se esperaba fuera mayor, ya que en teoría no se considera que esta clase se modifique espacialmente en el tiempo. Sin embargo, debido a la dinámica tanto natural como a la provocada por las mismas actividades humanas (apertura de bocas y canales esencialmente) se observó el cierre de caminos, probablemente debido a inundaciones en las áreas.

Enfocando el análisis en la dinámica que han seguido las áreas de manglar durante el periodo de estudio, tenemos que el 73.66% de la superficie de manglar no ha sufrido cambio en su localización en el periodo de estudio.

La dinámica de cambio del manglar descrita sugiere que, quizás son eventos naturales los que han tenido más peso dentro del avance y retroceso de esta clase en esta región, en algunos casos tal vez magnificados por las actividades humanas.

Tabla 3.18. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Tabasco (1972-2005).

Mapa 1972										
Clase		1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	3,450.9	1,364.7	2,299.1	22.3	445.9	0.0	1,302.1	146.2	9,031.
	2.- Agrícola - Pecuaria	264.6	70,981.3	14,689.2	221.2	1,174.0	0.0	6,966.9	478.9	94,776.1
	3.- Otra vegetación	81.8	3,265.4	20,015.4	62.3	1,420.0	0.0	5,448.2	261.8	30,554.9
	4.- Sin vegetación	4.1	5.5	74.5	231.5	38.0	0.0	62.8	125.3	541.7
	5.- Manglar	44.4	409.4	1,061.0	4.6	33,130.8	0.0	10,027.9	299.6	44,977.7
	6.- Manglar perturbado	0.0	0.0	0.0	0.0	35.4	0.0	0.8	0.0	36.2
	7.- Otros humedales	160.1	3,613.6	8,374.7	4.3	5,198.2	0.0	215,089.6	1,494.3	233,934.8
	8.- Cuerpos de agua	31.4	223.7	408.8	507.8	488.0	0.0	7,728.4	54,347.4	63,735.5
Total 1972		4,037.3	79,863.6	46,922.7	1,054.0	41,930.3	0.0	246,626.7	57,153.5	477,588.1
EL %		85.48	88.88	42.66	21.96	79.01	n.a.	87.21	95.08	
ER %		123.69	18.67	-34.88	-48.61	7.27	n.a.	-5.15	11.54	

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9, la cual podría presentar sobreposición en ambas fechas. Cartografía digital relacionada: TAB_CC_ccl.shp y TAB_CM_ccl.shp.

Tabla 3.19. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Tabasco (1972-2005).

Mapa 1972										
Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005	
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	0.72	0.29	0.48	0.00	0.09	0.00	0.27	0.03	1.88
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.06	14.86	3.08	0.05	0.25	0.00	1.46	0.10	19.86
	3.- Otra vegetación	0.02	0.68	4.19	0.01	0.30	0.00	1.14	0.05	6.39
	4.- Sin vegetación	0.00	0.00	0.02	0.05	0.01	0.00	0.01	0.03	0.12
	5.- Manglar	0.01	0.09	0.22	0.00	6.94	0.00	2.10	0.06	9.42
	6.- Manglar perturbado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
	7.- Otros humedales	0.03	0.76	1.75	0.00	1.09	0.00	45.04	0.31	48.98
	8.- Cuerpos de agua	0.01	0.05	0.09	0.11	0.10	0.00	1.62	11.38	13.36
Total 1972	0.85	16.73	9.83	0.22	8.79	0.00	51.64	11.96	100.02	

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Patrones e índices espaciales

El periodo de análisis en el estado de Tabasco fue 1972-2005, los resultados de los atributos e índices de la clase manglar se muestran en la Tabla 3.20. El área de manglar se incrementó en 2,983 ha y el número de parches en la Fecha 2 es mayor que en la Fecha 1; este patrón sigue lo esperado en términos generales, ya que por una parte al incrementarse la superficie se asume que existen nuevos parches de manglar que colonizaron y por otro lado los procesos de fragmentación antrópica en el estado hacen que exista un mayor número de parches.

Tabla 3.20. Atributos e índices de la clase manglar en el estado de Tabasco.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM (%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	IF	IIC
F1	41,999	635	12.03	66.14	0.12	0.12	0.63	104.43	0.014
F2	44,982	951	28.04	47.40	0.16	0.18	0.78	60.52	0.003

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; NP: Número de Parches; IPM: Índice de Parche Mayor; AP: Área promedio de los parches; IA_L: Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; IA_S: Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; R_c: Dispersión de parches; IF: Índice de fragmentación; IIC: Índice Integral de conectividad.

En negrillas se muestra el valor más alto.

La dominancia del parche de manglar con mayor superficie (28.0) es más alta en 2005 que en 1972 (12.0). Este incremento se explica principalmente por la unión de varios parches de manglar en la región oriental del estado de Tabasco entre la Laguna de la Machona, Laguna de la Redonda y la barra de Tupilco. Esta zona al ser permanentemente inundable permite el crecimiento y la regeneración natural del manglar.

El incremento del área total y del número de parches de manglar fue acompañado con la reducción del área promedio de los parches (Tabla 3.20). El valor de diferencia para el AP entre las dos fechas fue de 18.7 ha y fue estadísticamente significativo ($p = 0.00000$; $Z = 5.395$).

Aproximadamente el 71% de los parches estimados en este análisis presentan un tamaño entre 1 a 10 hectáreas en las dos fechas. El 90% de los fragmentos se encuentran fuertemente sesgados a un tamaño menor a 82 hectáreas para la Fecha 1 y a un tamaño menor a 43 ha para la Fecha 2. En contraste, sólo 59 (Fecha 1) y 56 (Fecha 2) parches fueron determinados con superficies mayores a 100 ha (Figura 3.23). En esta categoría sobresale un parche mayor a 3,600 ha en la Fecha 1 el mismo que fue creciendo y conectándose con parches circundantes lo cual resultó en un parche mayor a 7,400 ha para la Fecha 2.

Para esta región encontramos que el índice de amenaza por longitud de frontera se incrementa entre las Fechas 1 y 2, al pasar de 0.12 a 0.16, ocurriendo lo mismo para el índice de amenaza por superficies adyacentes al incrementarse de 0.12 a 0.18 durante el mismo periodo.

Si bien el índice amenaza por longitud de borde desde la Fecha 1 se presentaba arriba de 0.1, el índice a amenaza por área adyacente presentó un valor relativamente bajo (0.12). Lo que se tradujo en el incremento de la superficie de manglar, si bien también se verificó un incremento notable en la fragmentación del paisaje. La fragmentación aunada al incremento del contacto con actividades antrópicas pudiese plantear un marco de condiciones más delicado para el desarrollo del ecosistema de estudio.

El valor obtenido para la dispersión de parches (R_c) nos indica que los parches de manglar para ambas fechas (R_c < 1), presentaron una distribución de forma agregada en el área de estudio. El índice de fragmentación (IF) presentó para la Fecha 2 (104.4) un valor menor en relación con la Fecha 1 (60.5) lo

cual nos indica que aunque exista incremento en la superficie de manglar existen procesos antrópicos que están fragmentando esta cobertura.

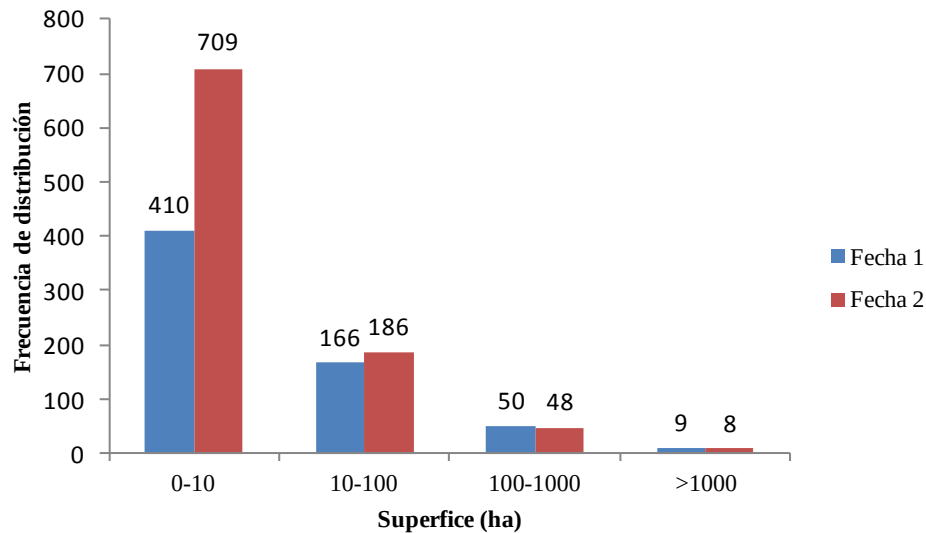


Figura 3.23. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Tabasco.

De los 635 parches de manglar observados en la Fecha 1 en el estado de Tabasco nueve de ellos (en total 13,531 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) *Alto* y *Muy Alto*, mientras que en la Fecha 2 de los 951 parches de manglar presentes en esa fecha, ya sólo se lograron identificar dos parches (en total 10,552 ha), con valor de IIC relevante (Figura 3.24 y Mapas 5 y 6 del Anexo 2).

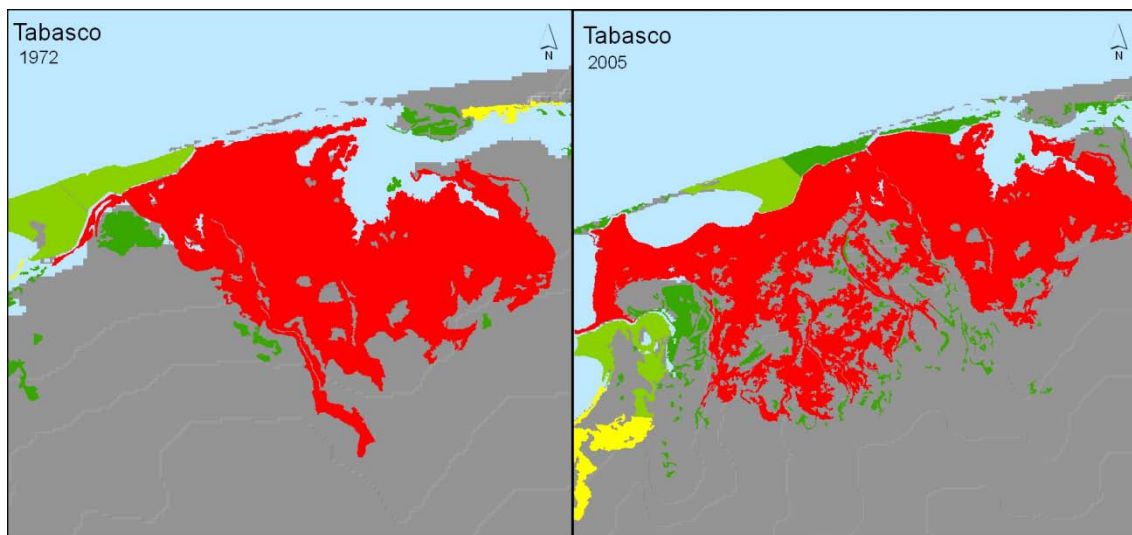


Figura 3.24. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis, en el estado de Tabasco.

Simbología: Rojo = Muy alto, Naranja = Alto, Amarillo = Medio, Verde claro = Bajo y Verde oscuro = Muy bajo, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua

La superficie del parche con valor más alto de IIC para la Fecha 1 fue de 3,637 ha, mientras que para la Fecha 2, la superficie del parche con valor más alto de IIC fue de 7,498 ha (Figura 3.25). En este caso se registró un aumento de 3,861 ha de la superficie total de manglar del parche con mayor valor de IIC, lo

cual indica procesos de colonización de manglar hacia la parte oeste del parche, hacia la parte de la Laguna Redonda, asociado al incremento de los manglares que se dio paulatinamente entre 1970 y 1986, al sureste de la Laguna Machona, debidos a la apertura de la boca de Panteones en 1984 y la salinización de tierras al sur de dicha laguna (Moreno 2011 com. pers.), además de la apertura de otras bocas y canales en el área (Zavala y Castillo 2003). Si bien el parche con mayor valor de IIC incrementó casi al doble, el total de la superficie de manglar con un valor Muy alto o Alto en general disminuyó 2,979 ha.

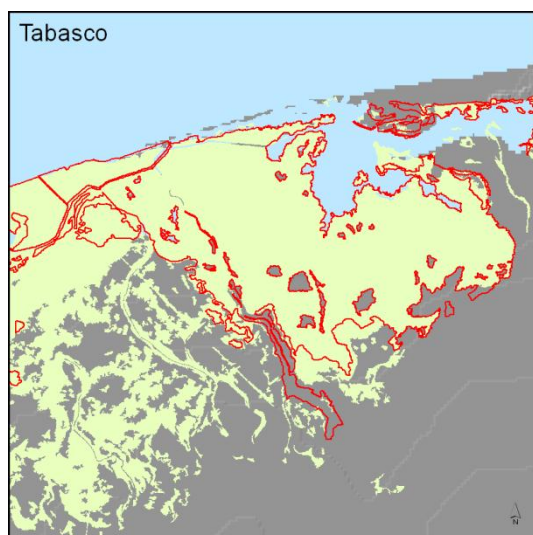


Figura 3.25. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Tabasco.

Simbología: Contorno rojo = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1, Verde = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 2, Gris: Porción terrestre, Azul = Agua.

Campeche

Validación mapa 2005

La evaluación de la exactitud del mapa de uso del suelo y vegetación del 2005 de Campeche se obtuvo a partir de 629 fotografías aéreas digitales de alta resolución, además de 1,213 puntos obtenidos por otras instituciones (ver sección de materiales y métodos). La exactitud global del mapa de uso del suelo y vegetación para el mapa de Fecha 2 de Campeche resultó en 74.73% (Tabla 3.21) con un coeficiente de Kappa de 0.67. Sin embargo, al calcular la exactitud con la matriz ponderada con la superficie de cada clase en el mapa, para evitar el sesgo provocado por el tipo de muestreo seleccionado, la exactitud global estimada disminuyó considerablemente a 57.32% (Tabla 3.22) debido a que las clases con mayor exactitud global son las que disminuyeron su influencia al homogenizar la influencia área, el índice de Kappa tuvo una disminución hasta 0.46.

Tabla 3.21. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Campeche.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	639	18	3	1	661	3.33
	3.- Otra vegetación	159	119	25	12	315	62.22
	5.- Manglar	7	20	483	11	521	7.29
	7.- Otros humedales	132	33	26	81	272	70.22
	Total	937	190	537	105	1769	Exactitud Global %
Error de Omisión %						74.73	
Exactitud Productor %							
^K						0.67	

Tabla 3.22. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Campeche, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	14.46	0.41	0.07	0.02	14.96	3.33
	3.- Otra vegetación	14.65	10.96	2.30	1.11	29.02	62.22
	5.- Manglar	0.32	0.93	22.41	0.51	24.17	7.29
	7.- Otros humedales	15.46	3.86	3.04	9.49	31.85	70.22
	Total	44.89	16.16	27.82	11.12	100	Exactitud Global %
Error de Omisión %						57.32	
Exactitud Productor %							
^K						0.46	

La exactitud del usuario para dos de las clases ponderadas por área supera el 90%, sin embargo se presentan confusiones considerables en las clases *Otros humedales* y *Otra vegetación*, resultado de la confusión espectral y la dificultad para separarlos de las zonas agrícolas en donde ambas clases presentan la mayor confusión. En este aspecto influyen fuertemente las zonas inundables que han sido deforestadas para usos agropecuarios y que posteriormente son abandonadas, presentando grados de recuperación que son difíciles de diferenciar con imágenes satelitales. Las coberturas *Manglar* y *Otros humedales* registraron una exactitud del productor adecuada con 80.54% y 85.27% lo que indica que lo que en

realidad es humedal esta correctamente clasificado. Debido a las confusiones descritas, la clase *Agrícola-pecuaria* esta considerablemente subestimada con un error de omisión del 67.79%.

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para 1981 (Fecha 1) y 2005 (Fecha 2) de Campeche, estos se presentan en Figura 3.26 y en la Tabla 3.23, así como en el Anexo 1, Mapas 13 al 16.

Para el estado de Campeche, el área de estudio es de 1,487,230 ha, el 17.27% del total nacional. En el año inicial las mayores coberturas terrestres son representadas por las clases de *Otra vegetación*, *Otros humedales* y *Manglar* con 19.35%, 16.52% y 14.59% respectivamente. Sin embargo para el año 2005 estas dominancias en coberturas cambian a *Otros humedales* y *Otra vegetación* con 17.73% y 16.17% respectivamente y *Manglar* continúa en la tercera posición, aunque en esta última fecha disminuye a 13.43%.

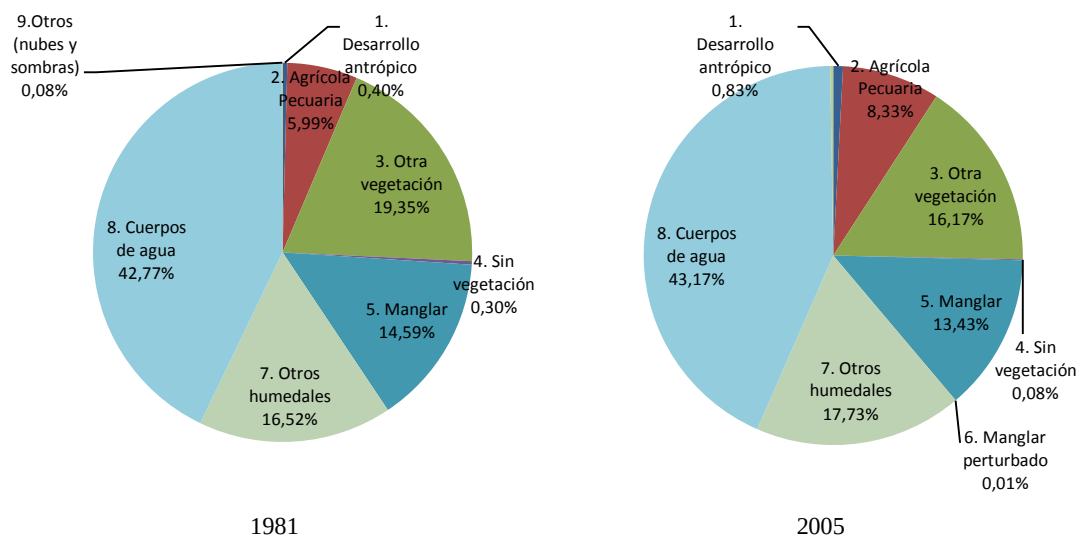


Figura 3.26. Proporción de las coberturas del suelo en el área de estudio en el estado de Campeche en los años 1981 y 2005.

Tabla 3.23. Extensión del uso del suelo y vegetación en Campeche (1981-2005).

Clase	1981		2005		+/- Netas	r (%)
	ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	5,983.5	0.40	12,294.4	0.83	6,310.8	2.67
2.- Agrícola - Pecuaria	89,095.3	5.99	123,858.8	8.33	34,763.5	1.32
3.- Otra vegetación	287,751.5	19.35	240,482.8	16.17	-47,268.8	-0.67
4.- Sin vegetación	4,427.6	0.30	1,194.5	0.08	-3,223.1	-4.86
5.- Manglar	216,969.0	14.59	199,661.6	13.43	-17,307.4	-0.28
6.- Manglar perturbado	16.6	0.00	207.8	0.01	191.2	3.08
7.- Otros humedales	245,676.1	16.52	263,672.8	17.73	17,996.7	0.30
8.- Cuerpos de agua	636,105.8	42.77	641,972.8	43.17	5,867.1	0.03
9.-Otros (nubes y sombras)	1,204.2	0.08	3,882.3	0.26	n.a.	n.a.
Total	1,487,229.6	100.00	1,487,229.6	100.00		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Se registró un incremento de las superficies destinadas a actividades agrícola-pecuarias de 35,028.3 ha, lo que representa el 39.52%. Es importante analizar esta situación de crecimiento de este tipo de actividades debido a que el área de estudio es una región muy importante hidrográfica e hidrológicamente, ya que presenta la descarga de varios ríos de importancia a la Laguna de Términos como son: Candelaria, Palizada, Sabancuy, Chumpan, etc., (Amezcu-Linares y Yáñez-Arancibia 1980). Este hecho, junto a la topografía del área, hace que muchas zonas presenten planicies de inundación extensas en época de lluvias, las cuales pueden alcanzar áreas donde se encuentran establecidas selvas bajas o medianas.

En la matriz de detección de cambios (Tabla 3.24), se observa que la ganancia de superficie *Agrícola-pecuaria* es a expensas de *Otra vegetación* y en los valores de la Tabla de probabilidad de cambio (Tabla 3.25), se observa que esta es la mayor tendencia de cambio. Se observa también que las zonas que fueron deforestadas para ser aprovechadas en actividades agrícolas y pecuarias, pueden cambiar a *Otros humedales* al ser abandonadas.

Respecto al total de superficie de manglar que paso a otra cobertura (28,596.4 ha), el 67.873% paso a la clase de *Otros humedales* (Figura 3.27). Esto puede deberse a la dinámica de deforestación para actividades agrícolas y ganadera y posterior abandono de estas zonas frecuentemente inundables, debido a su incompatibilidad con este tipo de actividades. Asimismo, es posible que dichas áreas correspondan a áreas fuertemente afectadas por eventos meteorológicos y que no han podido recuperarse o se encuentran en proceso de recuperación.

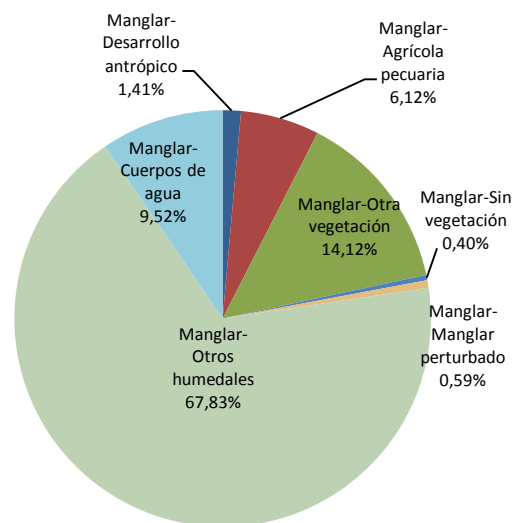


Figura 3.27. Distribución de los cambios de manglar en área de estudio en el estado de Campeche durante el periodo 1981 – 2005.

Es importante mencionar que áreas importantes de manglar han sido sustituidas por la clase *Cuerpos de Agua* en la línea de costa (Figura 3.28), en donde la dinámica costera ha modificado el paisaje.

La cobertura que resultó con las mayores ganancias en el periodo de análisis es la *Agrícola-pecuaria*, con más de 30,000 ha. En general, estos datos indican que esta actividad, especialmente la que se desarrolla en el área, resulta ser importante, ya que muchas coberturas clasificadas como *Otros humedales* son estacionalmente utilizados para pastoreo. La ganadería ha ido tomando fuerza en los últimos años con el consecuente incremento de áreas destinadas a potreros (Cepeda 2005). En la Figura 3.29 se puede observar una de las zonas donde el incremento de esta actividad fue muy relevante y explica al menos 25,000 de las 30,000 ha en las que se incrementó esta actividad.

Los resultados de la Tabla 3.24 respecto a la Estabilidad de Localización (EL), muestran que la cobertura natural de tipo terrestre que presentó mayor porcentaje fue la de *Manglar* (86.82%). En el cálculo de la Estabilidad de Residencia (ER) la cobertura de *Desarrollo antrópico* obtuvo una razón de cambio de 105.73%. La clase que presentó el menor valor de EL fue la cobertura *Sin vegetación* (15.89%), indicando de esta manera su mayor susceptibilidad a transformarse en otras coberturas, lo cual se ve reforzado con la obtención más baja de la ER (-73.02%).

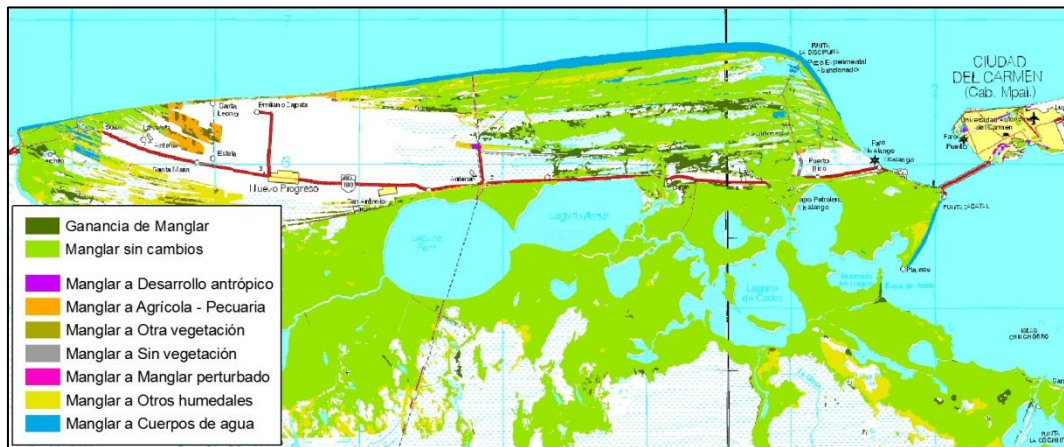


Figura 3.28. Punta La Disciplina, Campeche. Ganancias y tipos de pérdida en la cobertura de Manglar en el periodo 1981 - 2005.

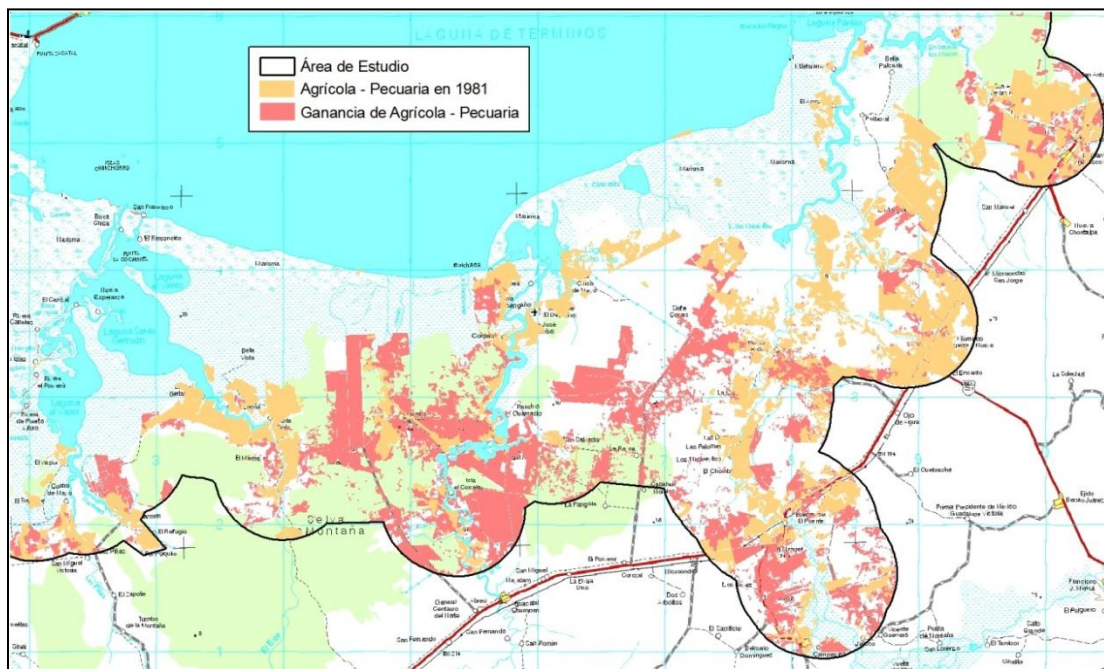


Figura 3.29. Región Sur de la Laguna de Términos, Campeche. Áreas de crecimiento más importantes de la clase Agropecuaria en el periodo 1981–2005.

También se observa un elevado incremento en la clase *Desarrollo antrópico* (6,310 ha, $r=2.67$) que se debe principalmente al crecimiento demográfico de Ciudad del Carmen que inició a principios de la década de 1970 cuando inicia la “era del desarrollo petrolero” en el país (Cepeda 2005).

La clase denominada *Sin vegetación*, presenta fuertes cambios entre las dos fechas analizadas (1981-2005), una parte de este hecho se explica a que los bancos de arena presentes en la Laguna de Términos muy cerca a la boca de Puerto Real fueron cubiertos por el cuerpo de agua para la última fecha, considerándose de esta manera la pérdida de la cobertura (Figura 3.30).

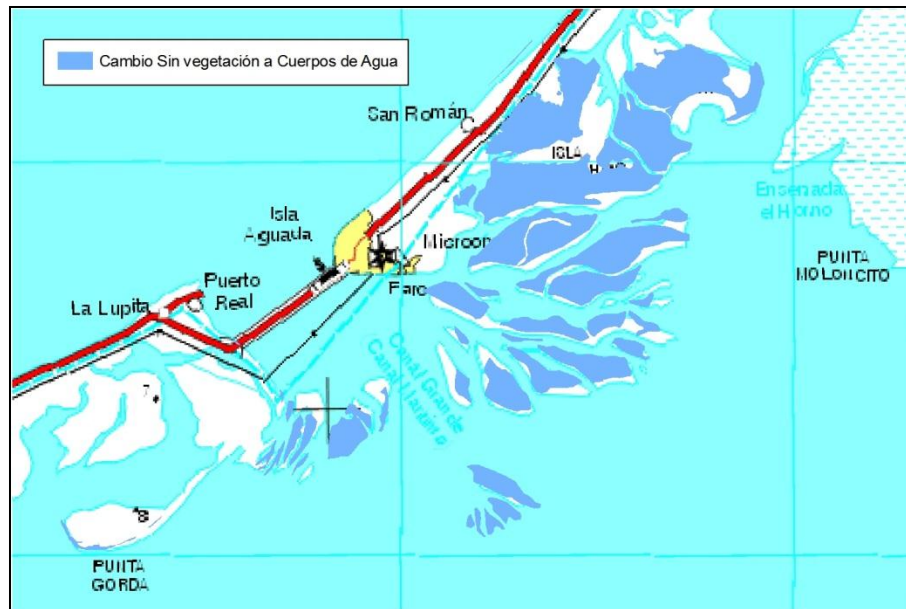


Figura 3.30. Puerto Real, Campeche. Áreas de la clase sin vegetación que fueron cubiertas por agua en el periodo 1981 - 2005.

En general los manglares resultaron afectados ya que la superficie disminuyó 17,307 ha, lo que representa un 8.03% de la cobertura original del mapa Fecha 1, con lo cual se calculó una tasa de deforestación anual del 0.28%. Esto indica que es un ecosistema que presenta algún tipo de amenaza de conservación y que paulatinamente se va restringiendo su distribución espacial en la zona de estudio. En general, si bien estas pérdidas de manglar están distribuidas en toda el área de estudio, podemos apreciar que uno de los sitios que tuvo mayor influencia de este proceso fue cercano a Ciudad del Carmen.

Por otro lado, se detectaron procesos de posible regeneración de sitios de manglar en las zonas cercanas a Champotón (Figura 3.31). Estos nuevos parches de manglar se presentaron en zonas que en la Fecha 1 fueron clasificados como *Otros humedales* por tratarse de cuerpos de agua somera con pequeños parches de manglar.

Según los resultados obtenidos se considera que el principal problema relacionado con el cambio de paisaje en la zona costera del estado de Campeche corresponde a las actividades agrícola-pecuarias que redujeron fuertemente la superficie de la clase *Otra vegetación*, lo cual se refleja en los altos valores de probabilidad de cambio mostrados en la Tabla 3.25, así como en la tasa anual de deforestación para esa clase ($r=-0.67$). Trabajos realizados en la Laguna de Términos y zonas adyacentes (Mas y Zetina 2002, Guerra y Ochoa 2006) reconocen y coinciden que las coberturas y hábitats críticos con tasas de cambio por pérdida anual en la región corresponden a las selvas medianas y bajas.

Por otro lado, los mayores cambios de paisaje ocurridos en el sector Este de la Laguna de Términos, pueden haber sido inducidos por la facilidad de acceso a esta área por las carreteras Ciudad del Carmen-Sabancuy-Champotón y 16 de Marzo-Sabancuy, ya que estos cambios se encuentran cercanos a estas vías de comunicación. En el sector Oeste de la Laguna de Términos se presenta un menor grado de cambios en el paisaje. Es muy probable que la proximidad de esta región al Área Natural Protegida Pantanos de

Centla, los suelos frecuentemente inundados y la falta de vías de comunicación, disminuyan la presión de conversión de la vegetación natural por actividades agrícolas, ganaderas o forestales.

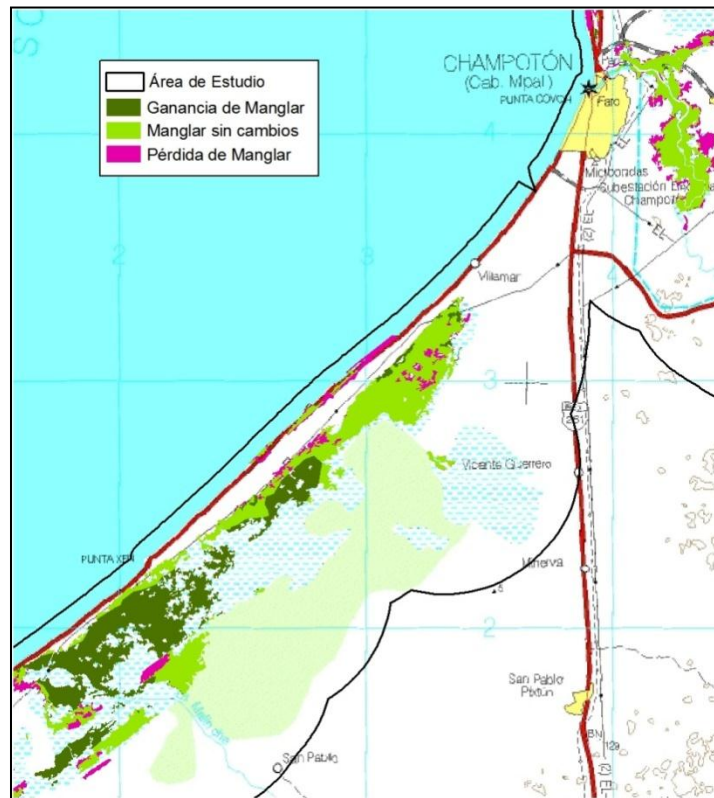


Figura 3.31. Champotón, Campeche. Ganancias y pérdidas en la cobertura de Manglar en el periodo 1981-2005.

Tabla 3.24. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Campeche (1981-2005).

Mapa 1981										
Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005	
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	5,059.1	2,103.2	3,698.2	96.5	403.1		567.8	339.4	12,267.3
	2.- Agrícola - Pecuaria	275.9	50,094.6	62,128.8	49.1	1,749.6		9,278.7	80.4	123,657.0
	3.- Otra vegetación	411.2	26,171.9	195,765.0	51.2	4,039.0		13,095.2	223.5	239,756.9
	4.- Sin vegetación	7.3	42.1	157.6	703.4	114.7		66.5	103.1	1,194.5
	5.- Manglar	77.5	726.8	688.0	25.0	188,316.7	2.3	8,999.3	651.7	199,487.3
	6.- Manglar perturbado	0.0		2.3		169.4	14.3	21.9		207.8
	7.- Otros humedales	120.6	9,392.5	22,881.7	86.9	19,397.0		210,139.3	1,585.9	263,603.9
	8.- Cuerpos de agua	11.4	97.5	97.6	3,415.5	2,723.7		2,544.5	633,082.6	641,972.8
Total 1981	5,963.0	88,628.7	285,419.0	4,427.6	216,913.1	16.6	244,713.1	636,066.5	1,482,147.5	
EL %	84.84	56.52	68.59	15.89	86.82		85.87	99.53		
ER %	105.73	39.52	-16.00	-73.02	-8.03		7.72	0.93		

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9, la cual podría presentar sobreposición en ambas fechas. Cartografía digital relacionada: CAM_CC_ccl.shp y CAM_CM_ccl.shp.

Tabla 3.25. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Campeche (1981-2005).

Mapa 1981										
Clase		1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	0.34	0.14	0.25	0.01	0.03	0.00	0.04	0.02	0.83
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.02	3.38	4.19	0.00	0.12	0.00	0.63	0.01	8.35
	3.- Otra vegetación	0.03	1.77	13.21	0.00	0.27	0.00	0.88	0.02	16.18
	4.- Sin vegetación	0.00	0.00	0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	0.01	0.08
	5.- Manglar	0.01	0.05	0.05	0.00	12.71	0.00	0.61	0.04	13.47
	6.- Manglar perturbado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
	7.- Otros humedales	0.01	0.63	1.54	0.01	1.31	0.00	14.18	0.11	17.79
	8.- Cuerpos de agua	0.00	0.01	0.01	0.23	0.18	0.00	0.17	42.71	43.31
Total 1981		0.41	5.98	19.26	0.30	14.64	0.00	16.51	42.92	99.99

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras

Patrones e índices espaciales

En la Tabla 3.26 se muestran los resultados del cálculo de los diferentes índices aplicados a la distribución de manglares en el estado de Campeche para el periodo 1981-2005. El área de manglar disminuyó en 17,332 ha y el número de parches en la Fecha 2 es mayor que en la Fecha 1. La disminución del área total de manglar debido principalmente a actividades agropecuarias en el estado de Campeche ayudó a que el número de parches aumentara a partir de la disgregación de los parches más grandes.

Tabla 3.26. Atributos e índices de la clase manglar en el estado de Campeche.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM (%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	IF	IIC
F1	216,969	1,276	34.89	169.79	0.05	0.03	0.43	395.51	0.0019
F2	199,662	1,601	35.26	124.49	0.03	0.04	0.47	263.84	0.0018

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; NP: Número de Parches; IPM: Índice de Parche Mayor; AP: Área promedio de los parches; IA_L: Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; IA_S: Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; R_c: Dispersión de parches; IF: Índice de fragmentación; IIC: Índice Integral de conectividad.

En negrillas se muestra el valor más alto.

La dominancia del parche de manglar con mayor superficie (35.3) es más alta en 2005 que en 1981 (34.9). Este pequeño incremento se explica principalmente por la unión de varios parches de manglar en la región de Petenes del estado de Campeche. A pesar de la construcción de infraestructura carretera por esta zona de Petenes, lo cual afecta severamente en algunas zonas la distribución de manglar, los valores registrados para el IPM no tuvieron mucha variación entre las fechas de análisis.

La disminución del área total y el incremento del número de parches de manglar fueron acompañados con la reducción del área promedio de los parches (Tabla 3.26). El valor de diferencia para el AP entre las dos fechas fue de 45.3 ha y fue estadísticamente significativo ($p = 0.0004$; $Z = 3.494$).

Aproximadamente el 77% de los parches estimados en este análisis presentan un tamaño entre 1 a 10 hectáreas en las dos fechas. El 90% de los fragmentos se encuentran fuertemente sesgados a un tamaño menor a 41 hectáreas para la Fecha 1 y a un tamaño menor a 34 ha para la Fecha 2. En contraste, sólo 79 (Fecha 1) y 84 (Fecha 2) parches fueron determinados con superficies mayores a 100 ha (Figura 3.32). En este estado se encuentran los parches más extensos de manglar a nivel país. En esta categoría sobresale un parche mayor a 73,000 ha en la Fecha 1, el mismo que se fue fragmentando principalmente por construcciones carreteras para tener acceso a la zona costera. Este hecho determinó que para la Fecha 2 el parche presente una reducción de casi un 35% del tamaño original dando como resultado un parche de más de 47,900 ha.

El índice de amenaza por longitud de frontera presentó una disminución entre las Fechas 1 y 2, al pasar de 0.05 a 0.03. Por otra parte, el índice de amenaza por superficies adyacentes se mantiene casi igual, pasando de 0.03 a 0.04 durante el mismo periodo.

En la región se presentó una pérdida de superficie de manglar durante el periodo de estudio pese a la los bajos índices de amenaza, las causas, parecen estar ligadas a factores no relacionados en forma directa con las actividades antrópicas locales y la frontera del manglar. Aunque los índices de amenaza se mantienen en niveles bajos para la Fecha 2, los factores fuera de la frontera de este ecosistema podrían mantener la dinámica de pérdidas en el futuro.

El valor de dispersión de parches (R_c), indicó que los parches de manglar para ambas fechas (R_c < 1), presentaron, una distribución de forma agregada en el área de estudio. Para el índice de fragmentación

(IF), el menor valor obtenido en la Fecha 2 (263.8) en relación con la Fecha 1 (395.5) nos indica que la reducción de superficie de manglar va ligada a procesos de fragmentación generalmente antrópica de esta cobertura. Aunque se mencionó en la metodología que los valores obtenidos de los IF entre estados no son comparables, se puede señalar que Campeche también presenta los valores más altos para este índice lo que nos indica que a nivel estatal son los que presentan menores características de fragmentación.

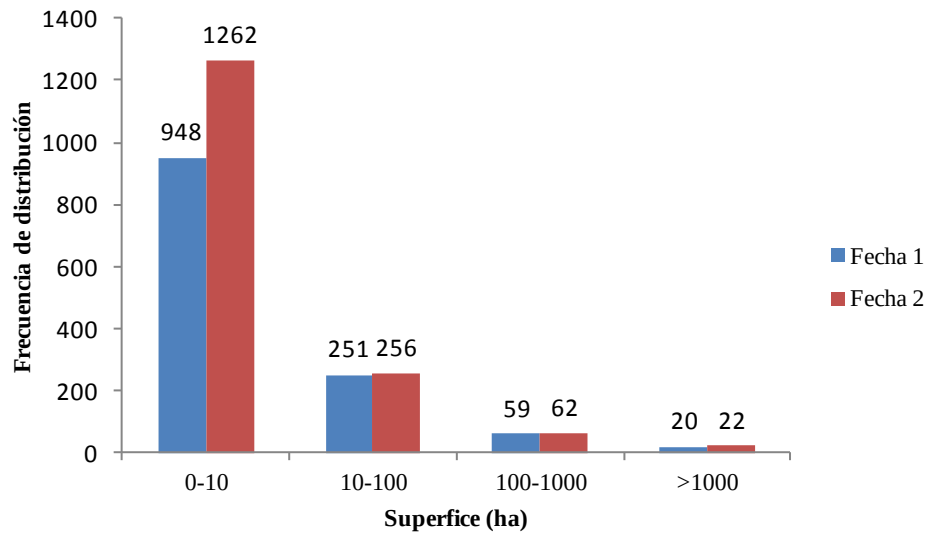


Figura 3.32. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Campeche.

De los 1,276 parches de manglar observados en la Fecha 1 en el estado de Campeche, cuatro de ellos (en total 152,115 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) *Alto* y *Muy Alto*, mientras que en la Fecha 2, de los 1,601 parches de manglar presentes en esa fecha, se lograron identificar siete parches (en total 135,023 ha) con valor de IIC relevante (Figura 3.33 y Mapas 7 y 8 del Anexo 2).

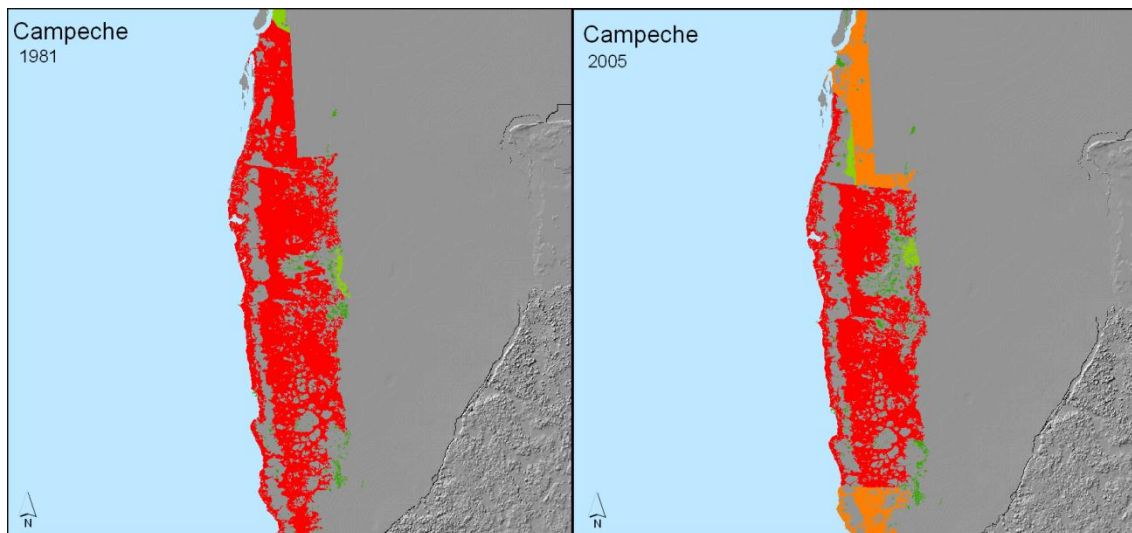


Figura 3.33. Distribución del parche con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis, en el estado de Campeche.

Simbología: Rojo = Muy alto, Naranja = Alto, Amarillo = Medio, Verde claro = Bajo y Verde oscuro = Muy bajo, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua

La superficie del parche con valor más alto de IIC para la Fecha 1 fue de 73,224 ha, mientras que para la Fecha 2, la superficie del parche con valor más alto de IIC fue de 47,973 ha, se encuentra en el área de los Petenes. (Figura 3.34). En este caso se registró una disminución de 25,251 ha de la superficie total de manglar del parche con mayor valor de IIC, principalmente en la parte central del parche, lo cual sugiere posibles procesos de afectación por la construcción de carretera que parte de Isla Arena hacia el centro-sur del estado, procesos que deberían ser atendidos en el corto plazo, para evitar un mayor deterioro de esta área disminuyendo con ello la reducción en la conectividad del sistema.

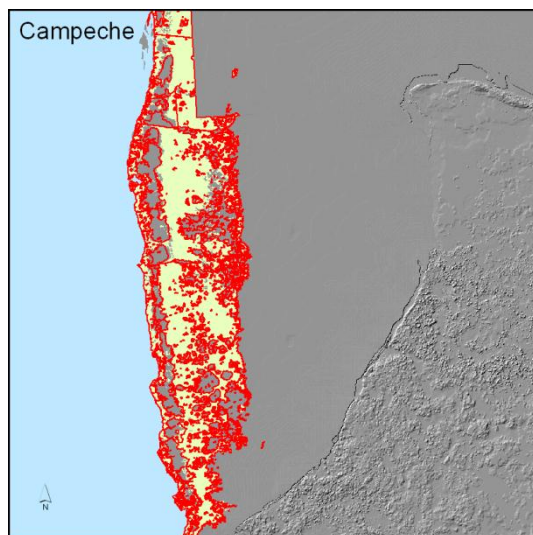


Figura 3.34. Superposición del parche con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Campeche.

Simbología: Contorno rojo = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1, Verde = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 2, Gris: Porción terrestre, Azul = Agua.

Yucatán

Validación mapa 2005

La evaluación de la exactitud del mapa de uso del suelo y vegetación del 2005 de Yucatán se obtuvo a partir de 388 fotografías aéreas digitales de alta resolución además de 300 puntos de campo obtenidos de otras fuentes (ver sección de materiales y métodos). La exactitud global del mapa de uso del suelo y vegetación para el mapa Fecha 2 de Yucatán resultó en 75.86% (Tabla 3.27) con un coeficiente de Kappa de 0.7. Sin embargo, al calcular la exactitud de forma ponderada en relación a la superficie de cada clase en el mapa, para evitar el sesgo provocado por el tipo de muestreo seleccionado, la exactitud global estimada disminuyó a 66.27% (Tabla 3.28) y el índice de Kappa disminuyó a 0.55.

Tabla 3.27. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Yucatán.

		Datos de referencia				Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
		2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total	
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	136	0	0	0	136	0.00
	3.- Otra vegetación	61	69	21	5	156	55.77
	5.- Manglar	2	28	217	12	259	16.22
	7.- Otros humedales	6	5	13	59	83	28.92
	Total	205	102	251	76	634	Exactitud Global %
Error de Omisión %		33.66	32.35	13.55	22.37	75.87	
Exactitud Productor %		66.34	67.65	86.45	77.63		
^K		0.70					

Tabla 3.28. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Yucatán, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

Facetas, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.							
		Datos de referencia				Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
		2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total	
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	13.06	0.00	0.00	0.00	13.06	0.00
	3.- Otra vegetación	17.46	19.75	6.01	1.43	44.65	55.77
	5.- Manglar	0.21	2.89	22.41	1.24	26.75	16.22
	7.- Otros humedales	1.12	0.94	2.43	11.05	15.54	28.92
	Total	31.85	23.58	30.86	13.72	100	Exactitud Global %
Error de Omisión %		59.00	16.24	27.37	19.47	66.27	
Exactitud Productor %		41.00	83.76	72.63	80.53		
^K		0.55					

La clase *Manglar* tiene una buena exactitud de usuario (83.78%), confundido ligeramente con otros tipos de vegetación. Por otro lado, la clase *Otra vegetación* tiene una baja exactitud de usuario, con apenas 44.23%, dado que presenta un alto grado de confusión con la clase *Agrícola-pecuaria* y en menor medida con *Manglar*. La clase *Otros humedales* tiene un nivel de exactitud de usuario y productor aceptables, presentando errores de comisión con *Manglar* principalmente. La clase *Agrícola-pecuaria* presenta un error de comisión nulo, es decir, lo cartografiado como *Agrícola-pecuaria* efectivamente corresponde a tal. Sin embargo, esta misma clase presenta un porcentaje de exactitud de productor del 41% indicando que un alto porcentaje de zonas que realmente son *Agrícola-pecuarias* han sido clasificadas como otras coberturas, especialmente como *Otra vegetación*. En el caso de Yucatán, se presentan estos errores en las zonas agropecuarias debido al alto grado de rotación de la tierra y a la eficiencia de recuperación de las

selvas en la zona, lo que hace difícil la coincidencia de los datos de campo con los mapas con diferentes fechas de realización.

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para 1979 (Fecha 1) y 2005 (Fecha 2) de Yucatán, estos se presentan en la Figura 3.35 y en la Tabla 3.29, así como en el Anexo 1, Mapas 17 al 20.

Para el estado de Yucatán, el área de estudio es de 419,965 ha, que representa el 4.88% del total nacional. En el año inicial, las mayores coberturas terrestres son representadas por las clases de *Otra vegetación* y *Manglar* con 41.96% y 23.52% respectivamente, mismas relaciones que se mantienen para año 2005, pero con distintas proporciones 36.45 % y 21.84% respectivamente.

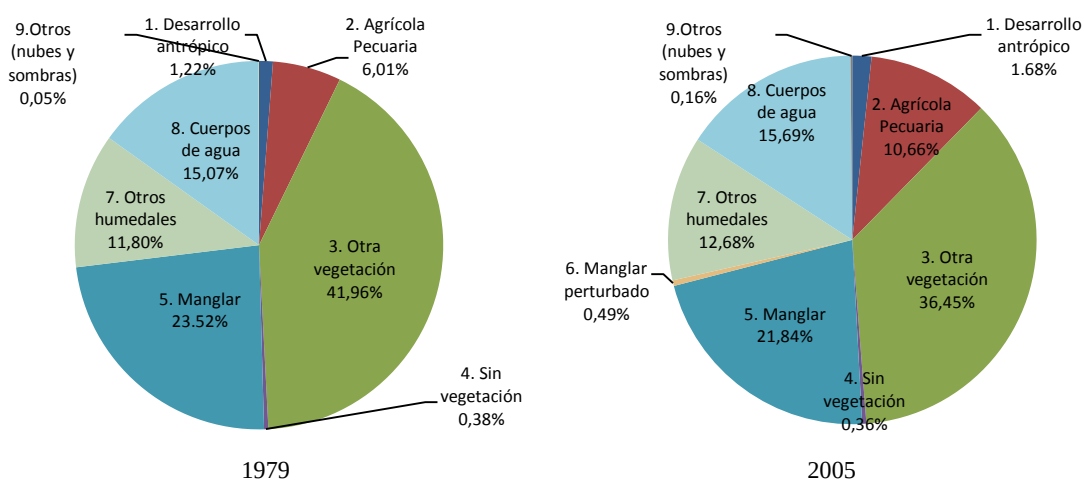


Figura 3.35. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Yucatán en los años 1979 y 2005.

Tabla 3.29. Extensión del uso del suelo y vegetación en Yucatán (1979-2005).

Clase	1979		2005		+/- Netas	r (%)
	ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	5,109.0	1.22	7,035.7	1.68	1,926.7	1.27
2.- Agrícola - Pecuaria	25,241.9	6.01	44,753.2	10.66	19,511.3	2.25
3.- Otra vegetación	176,206.7	41.96	153,070.4	36.45	-23,136.3	-0.54
4.- Sin vegetación	1,580.3	0.38	1,525.4	0.36	-54.9	-0.10
5.- Manglar	98,756.2	23.52	91,700.9	21.84	-7,055.3	-0.29
6.- Manglar perturbado	11.7	0.00	2,066.7	0.49	2,055.0	6.08
7.- Otros humedales	49,542.0	11.80	53,270.5	12.68	3,728.5	0.28
8.- Cuerpos de agua	63,288.4	15.07	65,886.1	15.69	2,597.7	0.16
9.-Otros (nubes y sombras)	229.2	0.05	656.5	0.16	n.a.	n.a.
Total	419,965.4	100.01	419,965.4	100.01		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Se registró un incremento de las superficies destinadas a actividades agrícola-pecuarias en un 77.3%, con una tasa de cambio anual de 2.25% (19,511 ha) lo cual resulta muy alto y preocupante si se considera que

ha sido principalmente a expensas de la clase *Otra vegetación*, este crecimiento se ubica principalmente en el lado Este de la zona de estudio (Figura 3.36).

Este hecho, es de hacerse notar, ya que a pesar de las limitaciones de disponibilidad de aguas superficiales en el estado, las actividades agrícola-pecuarias se han disparado de forma considerable, lo cual se constata por ejemplo con cifras proporcionadas por el INEGI a partir de censos nacionales (2011a), que indican que en el año 2009 al menos 784,478 ha estaban dedicadas a esta actividad es decir el 3.6% del total nacional, y con un valor mucho más alto que el de los estados contiguos, Campeche con el 1.07% y Quintana Roo con el 0.56% del total nacional.

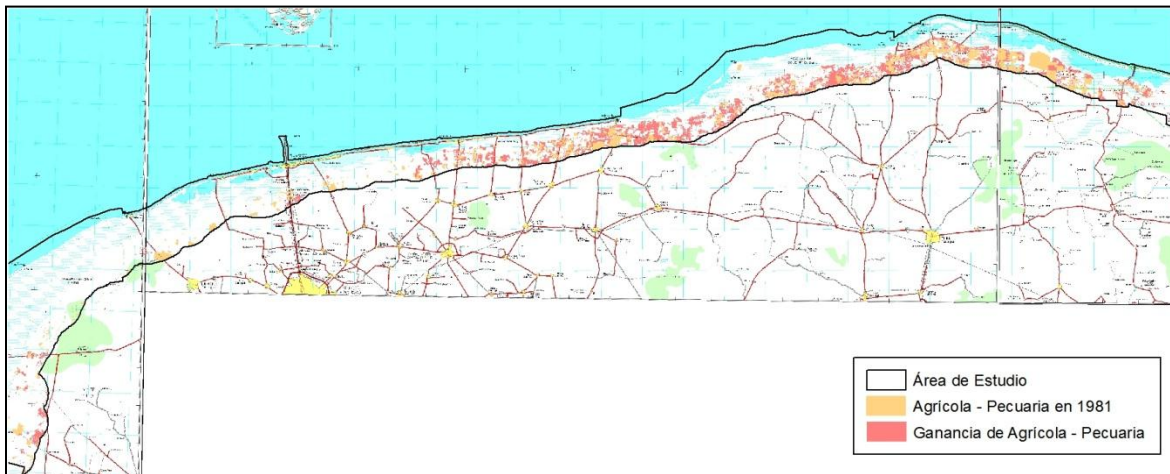


Figura 3.36. Zona de estudio, Yucatán. Áreas de crecimiento de la clase agrícola-pecuaria en el periodo 1979 - 2005.

En general la clase *Manglar* presentó una pérdida neta de 7,055 ha ($r=-0.29$), que aunque se distribuyen en toda la zona de estudio, es de hacerse notar que existen al menos dos zonas que presentan la mayor pérdida de cobertura de esta clase, una de ellas es en los alrededores de Puerto Progreso, la cual explica al menos 3,000 ha de la superficie perdida (Figura 3.37) y la otra es en las cercanías de Dzilam de Bravo (Figura 3.38), donde se explican al menos 2,100 ha de la superficie perdida; es decir entre las dos áreas acumulan al menos el 72% de la superficie de manglares transformada principalmente a *Otros humedales* y *Manglar Perturbado*.



Figura 3.37. Progreso, Yucatán. Ganancias y tipos de pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 - 2005.

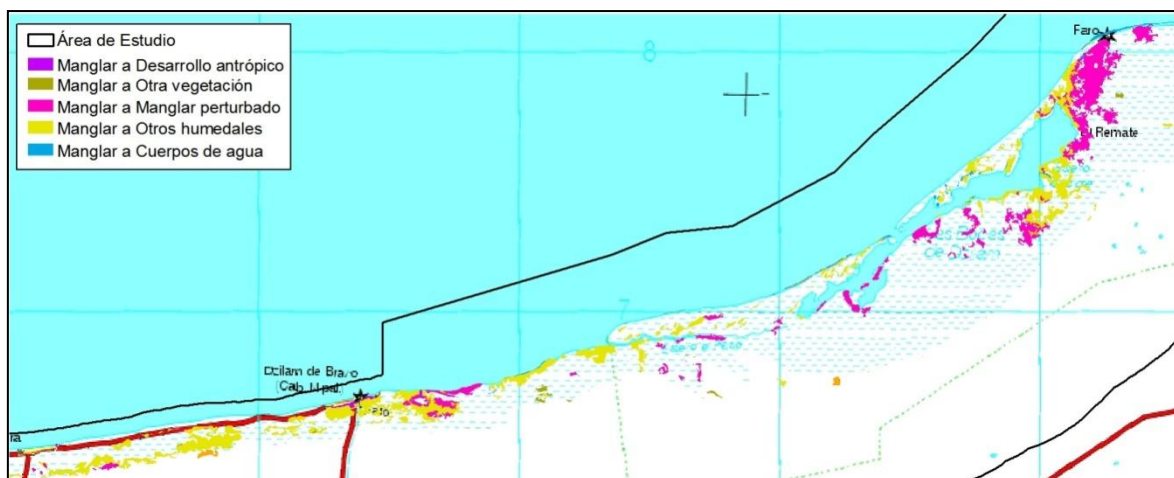


Figura 3.38. Dzilam de Bravo, Yucatán. Ganancias y tipos de pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 - 2005.

La matriz de detección de cambios (Tabla 3.30) muestra que 6,305 ha de *Manglar* existentes en la Fecha 1 (6.38%) pasaron a la clase de *Otros humedales*; mientras que en la Figura 3.39, se observa que este cambio corresponde al 69.35% de los cambios en las zonas de manglar. Esto puede deberse a la dinámica de deforestación para actividades agrícolas y posterior abandono de estas zonas frecuentemente inundables, debido a su incompatibilidad con este tipo de actividades. Asimismo, es posible que dichas áreas correspondan a áreas fuertemente afectadas por eventos meteorológicos y que no han podido recuperarse o se encuentran en proceso de recuperación, como sucede en áreas de Campeche.

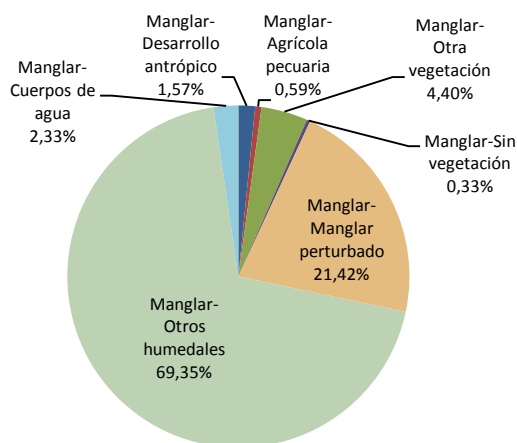


Figura 3.39. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Yucatán en el periodo 1979 – 2005.

También, es importante mencionar que áreas importantes de manglar han sido sustituidas por la clase *Manglar Perturbado*, y al menos tres áreas es necesario destacar: una dentro del Área Ecológica Estatal El Palmar, otra en los alrededores de la Laguna Rosada (Telchac Puerto) y la otra dentro de la Reserva Estatal de Dzilam de Bravo.

Los resultados de la Tabla 3.30 respecto a la Estabilidad de Localización (EL), muestran que la cobertura de *Manglar* presentó un alto porcentaje (90.79%). Al igual que en otros estados, la clase que presentó el índice más bajo de la EL fue la cobertura *Sin vegetación* (50.45%), indicando de esta manera su mayor susceptibilidad a transformarse en otras coberturas.

A diferencia de Tabasco y Campeche, en Yucatán no se detectaron procesos importantes de posible regeneración o creación de nuevos sitios de manglar.

Según los resultados obtenidos se considera que el principal problema relacionado con el cambio de coberturas en la zona costera del estado de Yucatán también corresponde al aumento de la actividad agrícola-pecuaria, la cual redujo en 20,000 ha la superficie de la clase *Otra vegetación*, lo cual se refleja en los altos valores de probabilidad de cambio (Tabla 3.31) y tasa anual de deforestación ($r=-0.54\%$). Para el caso de la cobertura de *Manglar*, como ya se mencionó anteriormente, la dinámica de la deforestación de estos sectores para prácticas agrícolas que son incompatibles con estas zonas inundables pueden ser los agentes de cambio para que exista pérdida de manglar.

Tabla 3.30. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Yucatán (1979-2005).

Mapa 1979										
Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005	
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	4,495.7	270.4	1,297.2	67.8	142.9	0.0	636.0	125.7	7,035.7
	2.- Agrícola - Pecuaria	133.3	14,730.2	29,716.2	2.0	53.8	0.0	80.4	0.4	44,716.3
	3.- Otra vegetación	306.8	9,647.7	142,120.0	48.3	399.5	0.0	347.5	9.5	152,879.3
	4.- Sin vegetación	52.4	55.3	288.6	797.2	30.1	0.0	167.0	134.8	1,525.4
	5.- Manglar	25.2	161.0	201.0	20.6	89,650.4	0.0	1,583.5	59.2	91,700.9
	6.- Manglar perturbado	0.9	0.0	0.2	0.4	1,947.3	11.6	102.3	4.0	2,066.7
	7.- Otros humedales	68.9	319.2	1,898.4	11.3	6,305.4	0.1	44,346.8	320.4	53,270.5
	8.- Cuerpos de agua	22.0	5.4	137.8	632.7	212.2	0.0	2,241.6	62,634.4	65,886.1
Total 1979	5,105.2	25,189.2	175,659.4	1,580.3	98,741.6	11.7	49,505.1	63,288.4	419,080.9	
EL %	88.06	58.48	80.91	50.45	90.79	99.15	89.58	98.97		
ER %	37.81	77.52	-12.97	-3.47	-7.13	17,564.10	7.61	4.10		

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9, la cual podría presentar sobreposición en ambas fechas. Cartografía digital relacionada: YUC_CC_ccl.shp y YUC_CM_ccl.shp.

Tabla 3.31. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Yucatán (1979-2005).

		Mapa 1979								
	Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	1.07	0.06	0.31	0.02	0.03	0.00	0.15	0.03	1.67
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.03	3.51	7.09	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	10.66
	3.- Otra vegetación	0.07	2.30	33.91	0.01	0.10	0.00	0.08	0.00	36.47
	4.- Sin vegetación	0.01	0.01	0.07	0.19	0.01	0.00	0.04	0.03	0.36
	5.- Manglar	0.01	0.04	0.05	0.00	21.39	0.00	0.38	0.01	21.88
	6.- Manglar perturbado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.00	0.02	0.00	0.48
	7.- Otros humedales	0.02	0.08	0.45	0.00	1.50	0.00	10.58	0.08	12.71
	8.- Cuerpos de agua	0.01	0.00	0.03	0.15	0.05	0.00	0.53	14.95	15.72
Total 1979		1.22	6.00	41.91	0.37	23.55	0.00	11.80	15.10	99.95

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Patrones e índices espaciales

Los resultados del cálculo de los diferentes índices aplicados a la distribución de manglares en el estado de Yucatán para 1979-2005 se muestran en Tabla 3.32. El área de manglar se redujo en 7,055 ha y el número de parches en la Fecha 2 es mayor que en la Fecha 1; este patrón sigue lo esperado en términos generales, ya que se asume que a mayor fragmentación existirá un mayor número de parches. La disminución del área total de manglar debido principalmente al cambio de la cobertura a otros humedales en el estado de Yucatán ayudó a que el número de parches aumentara a partir de la disgregación de los parches más grandes.

Tabla 3.32. Atributos e índices de la clase manglar en el estado de Yucatán.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM (%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	IF	IIC
F1	98,756	1,162	59.56	84.99	0.02	0.02	0.95	89.56	0.0028
F2	91,701	1,336	63.55	68.63	0.02	0.06	1.03	66.40	0.0020

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; NP: Número de Parches; IPM: Índice de Parche Mayor; AP: Área promedio de los parches; IA_L: Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; IA_S: Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; R_c: Dispersión de parches; IF: Índice de fragmentación; IIC: Índice Integral de conectividad.

En negrillas se muestra el valor más alto.

La dominancia del parche de manglar con mayor superficie (63.5) es más alta en 2005 que en 1979 (59.6). Este incremento se explica principalmente por la reducción del área total de manglar en 2005, más que por una mayor superficie del parche más grande.

La disminución del área total y el incremento en el número de parches de manglar fue acompañada con la reducción del área promedio de los parches (Tabla 3.32). El valor de diferencia para el AP entre las dos fechas fue de 16.4 ha y fue estadísticamente no significativo ($p = 0.114$; $Z = 1.579$).

Aproximadamente el 84% de los parches estimados en este análisis presentan un tamaño entre 1 a 10 hectáreas en las dos fechas. Aunque 90% de los fragmentos se encuentran fuertemente sesgados a un tamaño menor a 19 hectáreas para la Fecha 1, y de 16 ha para la Fecha 2. En contraste, sólo 35 parches fueron determinados con superficies mayores a 100 ha para ambas fechas (Figura 3.40). En esta categoría sobresale un parche mayor a 3,300 ha en la Fecha 1 localizado entre Celestún y Sisal. Este mismo parche disminuye para 2005 a aproximadamente 3,200 ha pero sigue siendo el mayor parche para la Fecha 2.

Los valores del índice de amenaza por longitud de frontera permanecieron sin cambio entre las fechas 1 y 2, además de presentar un valor muy bajo (0.02). Por su parte, el índice de amenaza por superficies adyacentes se incrementó ligeramente, además de presentar para ambos casos valores bajos 0.02 y 0.06 respectivamente.

En el periodo de estudio, pese a los bajos niveles de amenaza, tanto por longitud de frontera como por superficies adyacentes, se verificaron pérdidas de superficies de manglar, si bien, relativamente pequeñas y no relacionadas a la sustitución directa a coberturas de actividad antrópica. Los valores estimados a la Fecha 2 para los índices de amenaza permanecen bajos, por lo que es de esperarse que, los cambios ocasionados por acciones directas en los bordes de los ecosistemas de manglar, sean bajos también en un periodo posterior.

Es interesante observar que para el estado de Yucatán el valor de dispersión de parches (R_c) indica que los parches de manglar para la Fecha 1 ($R_c < 1$), presentaron una distribución agregada y para la Fecha 2

cambia a una distribución regular ($R_c > 1$). Esto nos indica que el impacto de las actividades antrópicas y los cambios de cobertura lograron cambiar la forma de distribución espacial de los parches de manglar.

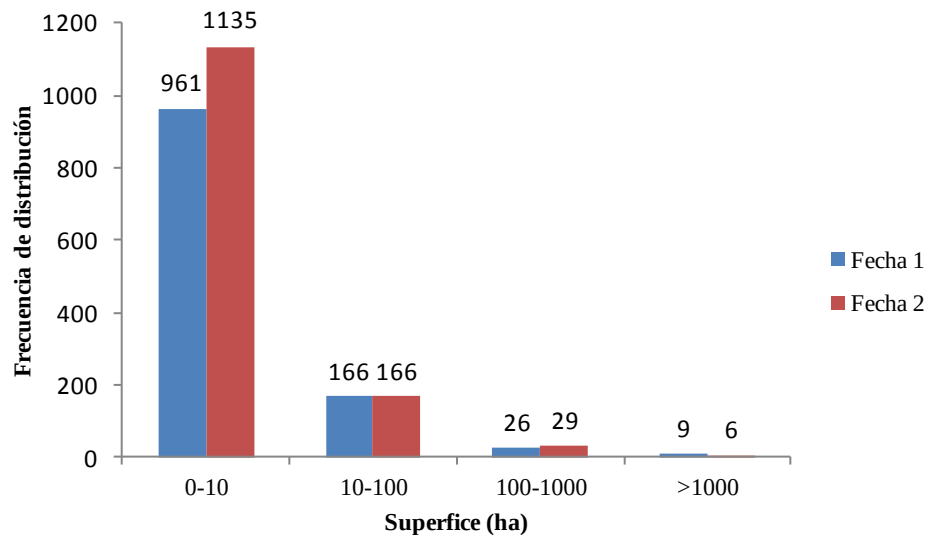


Figura 3.40. Distribución de parches de la clase Manglar de acuerdo con su superficie en Yucatán.

Con relación al índice de fragmentación (IF), el menor valor obtenido en la Fecha 2 (66.4) en relación con la Fecha 1 (89.6) nos indica que la reducción de superficie de manglar va ligada a procesos de fragmentación antrópica para esta cobertura.

De los 1,162 parches de manglar observados en la Fecha 1 en el estado de Yucatán, 14 de ellos (en total 84,572 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) *Alto* y *Muy Alto*, mientras que en la Fecha 2, de los 1,336 parches de manglar presentes en esa fecha, se lograron identificar 21 parches (en total 76,898 ha) con valor de IIC relevante (*Muy alto* y *Alto*) (Figura 3.41 y Mapas 9 y 10 del Anexo 2).

La superficie del parche con valor más alto de IIC para la Fecha 1 fue de 33,470 ha, mientras que para la Fecha 2, la superficie del parche con valor más alto de IIC fue de 32,565 ha. (Figura 3.42). En este caso se registró una disminución de 905 ha de la superficie total de manglar del parche con mayor valor de IIC, lo cual sugiere posibles procesos de conversión a humedales, principalmente en la parte central del parche, en las áreas cercanas al faro Punta Palmar, que deberían ser analizados en el corto plazo, para determinar su origen y evitar un mayor deterioro de esta área disminuyendo con ello la reducción en la conectividad del sistema.

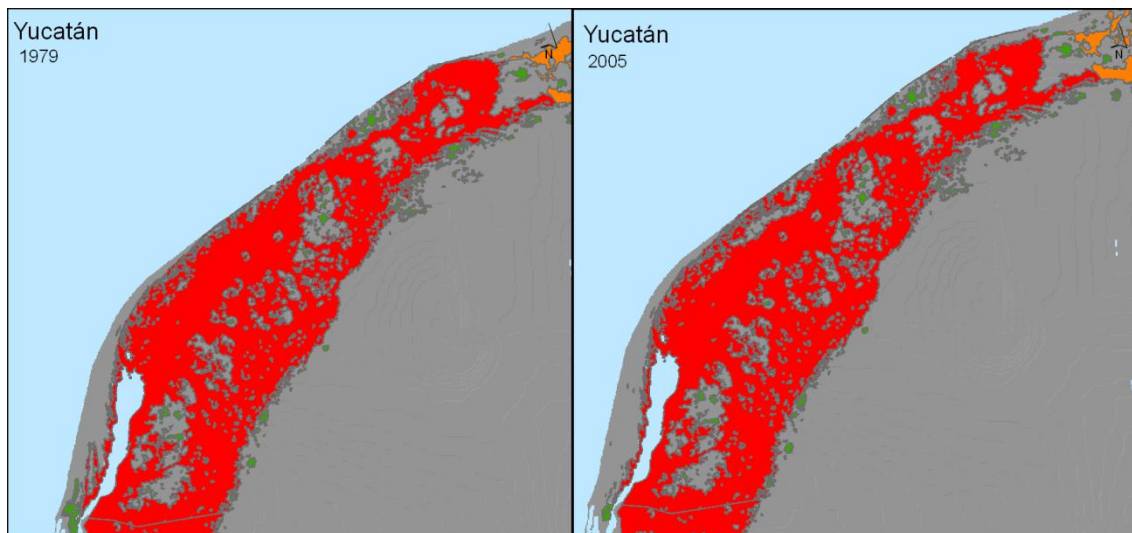


Figura 3.41. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis, en el estado de Yucatán.

Simbología: Rojo = Muy alto, Naranja = Alto, Amarillo = Medio, Verde claro = Bajo y Verde oscuro = Muy bajo, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua

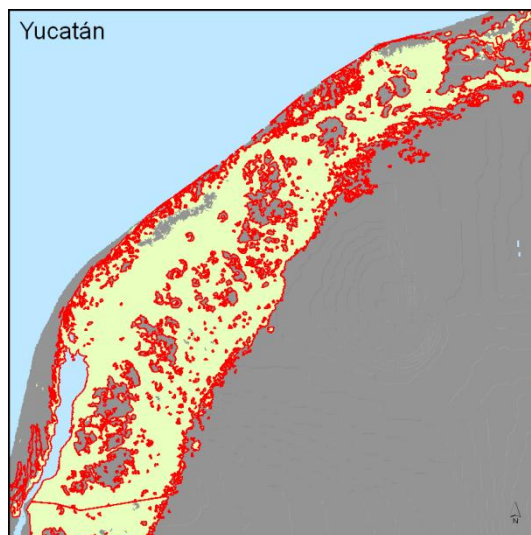


Figura 3.42. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Yucatán.

Simbología: Contorno rojo = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1, Verde = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 2, Gris: Porción terrestre, Azul = Agua.

Quintana Roo

Validación mapa 2005

La evaluación de la exactitud del mapa de uso del suelo y vegetación del 2005 de Quintana Roo se obtuvo a partir de 817 fotografías aéreas digitales de alta resolución más 456 puntos muestreados por otras instituciones (ver sección de materiales y métodos). La exactitud global del mapa de uso del suelo y vegetación para el mapa Fecha 2 de Quintana Roo es de 78.16% (Tabla 3.33) con un coeficiente de Kappa de 0.70. Sin embargo, al calcular la exactitud con la matriz ponderada con relación a los puntos de muestreo por clase y a la superficie de cada clase en el mapa, para evitar el sesgo provocado por el tipo de muestreo seleccionado, la exactitud global estimada disminuyó a 73.35% (Tabla 3.34) mientras que el índice de Kappa disminuyó hasta 0.54.

Tabla 3.33. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Quintana Roo.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	49	11	1	0	61	19.67
	3.- Otra vegetación	17	227	19	0	263	13.69
	5.- Manglar	0	28	390	14	432	9.72
	7.- Otros humedales	6	27	76	46	155	70.32
	Total	72	293	486	60	911	Exactitud Global %
Error de Omisión %						78.16	
Exactitud Productor %						78.16	
^K						0.70	

Tabla 3.34. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Quintana Roo, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	1.54	0.35	0.03	0.00	1.92	19.67
	3.- Otra vegetación	3.99	53.32	4.46	0.00	61.78	13.69
	5.- Manglar	0.00	0.82	11.49	0.41	12.73	9.72
	7.- Otros humedales	0.91	4.11	11.56	7.00	23.58	70.32
	Total	6.45	58.60	27.55	7.41	100	Exactitud Global %
Error de Omisión %						73.35	
Exactitud Productor %						73.35	
^K						0.54	

Los resultados de ambas matrices de confusión indican que la exactitud global del mapa de la Fecha 2 para Quintana Roo está sobre el 73%, lo que sugiere una coincidencia estándar entre los datos de referencia y los datos obtenidos del proceso de clasificación. Sobresalen los errores de omisión para las clases *Agrícola-pecuaria* y *Manglar*, las cuales son mayores al 50% (76.11 y 58.29 %, respectivamente) indicando una subestimación de ambas por confusiones con *Otra vegetación* y *Otros humedales*, respectivamente. En el caso de *Manglar* se presentan confusiones con *Otros humedales* debido probablemente a la estructura achaparrada y dispersa de los manglares en varias zonas de Quintana Roo, especialmente en la reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. Es por esta misma razón que los *Otros humedales* tienen un error de comisión del 70%. Para el caso de las zonas *Agrícola-pecuarias* se observa

una alto grado de confusión con *Otra vegetación* ya que Quintana Roo es uno de los estados donde la rotación de cultivos es grande, presentándose un gradiente bastante amplio entre el desmonte total para usos agrícolas y posterior descanso y recuperación de la selva, lo que hace complicada la división entre los suelos con vegetación secundaria incluida en la clase *Otra vegetación* y los suelos dedicados a la agricultura en una fecha específica. Por el contrario, el 86% de la cobertura clasificada como *Otra vegetación* efectivamente corresponde a tal clase.

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para 1981 (Fecha 1) y 2005 (Fecha 2) de Quintana Roo, estos se presentan en la Figura 3.43 y en la Tabla 3.35, así como en el Anexo 1, Mapas 21 al 24.

Para el estado de Quintana Roo, el área de estudio es de 1,819,551 ha, que representa el 21.13% del total nacional. En el año inicial, las mayores coberturas terrestres son representadas por las clases de *Otra vegetación*, *Otros humedales* y *Manglar* con 36.44%, 13.22% y 7.58% respectivamente. Para el año 2005 estas dominancias se mantienen variando muy poco: 34.73%, 13.26 y 7.16%, respectivamente.

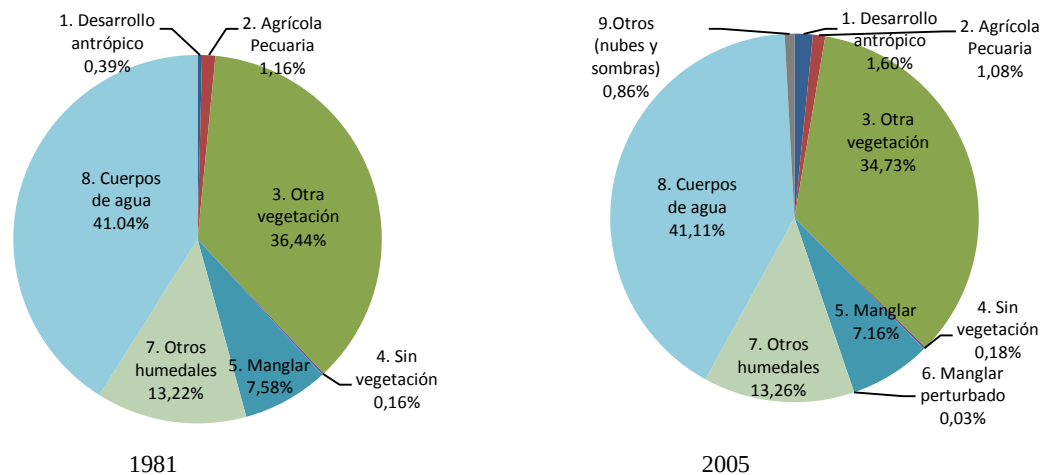


Figura 3.43. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Quintana Roo en los años 1981 y 2005.

Tabla 3.35. Extensión del uso del suelo y vegetación en Quintana Roo (1981-2005).

Clase	1981		2005		+/- Netas	r (%)
	ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	7,084.2	0.39	29,152.0	1.60	22,067.8	6.02
2.- Agrícola - Pecuaría	21,170.5	1.16	19,605.6	1.08	-1,564.9	-0.14
3.- Otra vegetación	663,119.0	36.44	632,002.0	34.73	-31,117.0	-0.20
4.- Sin vegetación	2,827.6	0.16	3,220.9	0.18	393.3	0.59
5.- Manglar	137,910.3	7.58	130,210.2	7.16	-7,700.1	-0.24
6.- Manglar perturbado	0.0	0.00	463.8	0.03	463.8	n.a.
7.- Otros humedales	240,572.3	13.22	241,211.9	13.26	639.6	0.01
8.- Cuerpos de agua	746,812.9	41.04	748,093.5	41.11	1,280.6	0.01
9.-Otros (nubes y sombras)	54.6	0.00	15,591.5	0.86	n.a.	n.a.
Total	1,819,551.4	99.99	1,819,551.4	100.01		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

En el periodo de estudio se registró un incremento substancial de las superficies destinadas a *Desarrollo antrópico* en más de 22,000 ha ($r=6.02$). La mayor parte de estos cambios ocurrieron en la zona que va desde Cancún hasta Playa del Carmen (Figura 3.44), donde se explican al menos 16,000 de las 22,000 ha de incremento, y de esas al menos 1,300 ha crecieron a expensas del manglar. Aunque en este momento no se tiene caracterizada con mayor detalle la clase *Desarrollo antrópico*, es muy probable que corresponda a infraestructura turística.

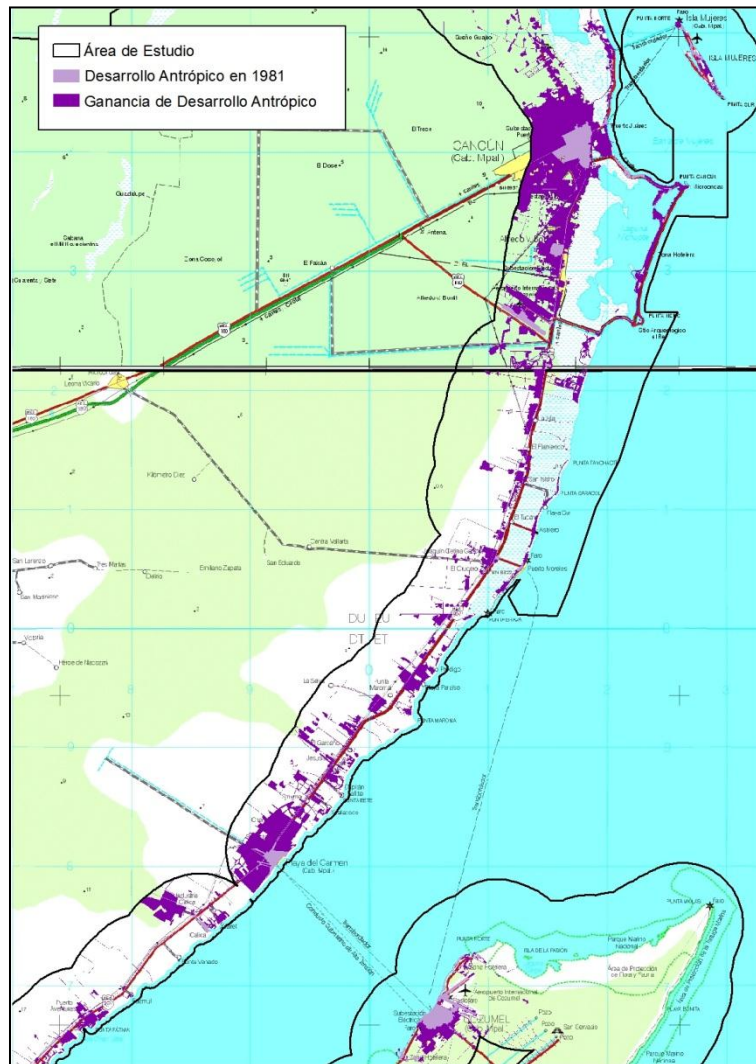


Figura 3.44. Cancún-Playa del Carmen, Quintana Roo. Áreas de crecimiento de la clase desarrollo antrópico, en el periodo 1981 - 2005.

Respecto a la cobertura de *Manglar*, ésta tuvo una pérdida neta de 7,700 ha, lo que representa casi un 5.58% de la cobertura original de 1981, con lo cual se calculó una tasa de deforestación anual del -0.24%. Esto indica que es un ecosistema que presenta amenazas de conservación y que paulatinamente se va restringiendo su distribución espacial en la zona de estudio.

Por otro lado, si se analiza la superficie de pérdida de manglar sin considerar las ganancias (8,854 ha), el 84.5% del cambio fue hacia la clase *Otros humedales* (Figura 3.45 y Tabla 3.36). Es posible que las áreas de pérdida correspondan a áreas fuertemente afectadas por eventos meteorológicos y que no han podido recuperarse o se encuentran en proceso de recuperación, además de que pueden ser zonas con mayores incrementos o subsidencias del nivel del mar lo cual da lugar a un comportamiento transgresivo del

espacio litoral que permite el origen de hidroseries que varían principalmente de unidades de manglar, marismas de inundación marginal (pantanos y selvas bajas inundables) (Ortiz y Méndez 2000).

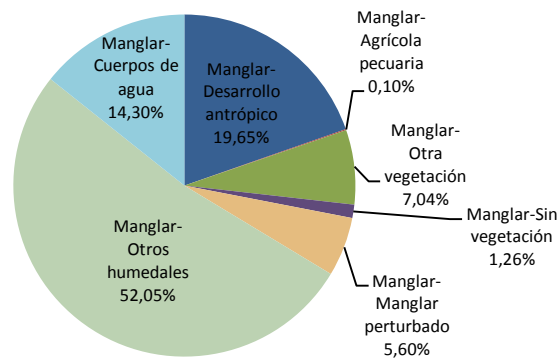


Figura 3.45. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Quintana Roo durante el periodo 1981 – 2005.

En la zona de estudio se identificaron al menos tres áreas en las cuales ha sido más extenso el proceso de cambio descrito en el párrafo anterior; uno es dentro del ANP Yum Balam (Figura 3.46), otra es en el área de la laguna Chacmochuc (Figura 3.47) y la tercera se localiza en las áreas aledañas a Puerto Morelos (Figura 3.48).



Figura 3.46. ANP Yum Balam, Quintana Roo. Pérdidas de manglar por otros humedales, en el periodo 1981 – 2005.



Es importante notar que hay áreas importantes de manglar que han sido sustituidas por *Cuerpos de agua* en la línea de costa, lo que indica que la dinámica costera ha modificado en gran medida el paisaje. Esto fue observado principalmente en el área de la Isla Holbox e Isla Cabo Catoche (Figura 3.49) en donde al menos 550 ha de manglar sufrieron esta transformación en el periodo de estudio.

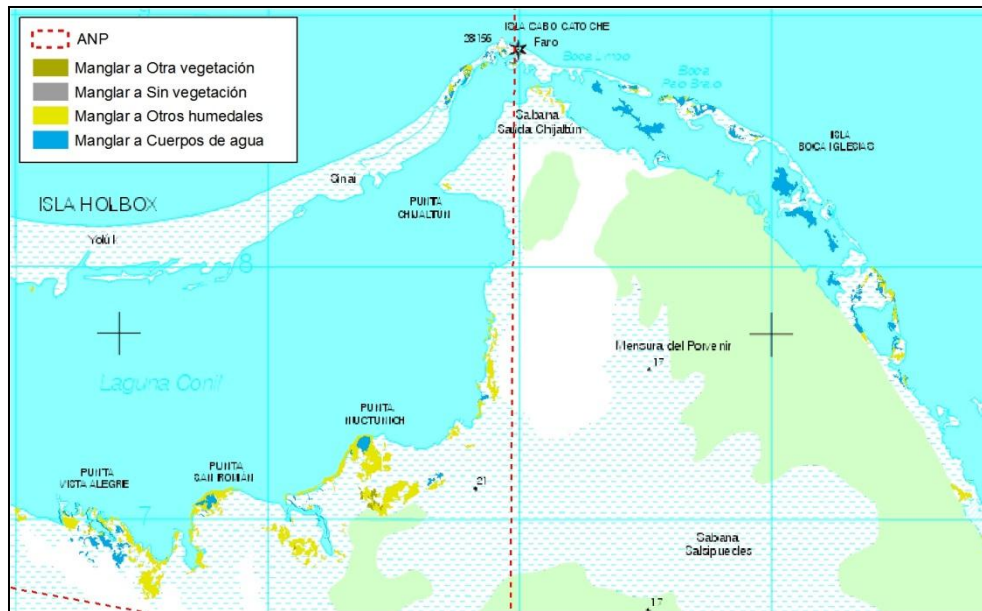


Figura 3.49. Isla Holbox–Isla Cabo Catoche, Quintana Roo. Pérdida de manglar por otros humedales y cuerpos de agua, en el periodo 1981 - 2005.

Los resultados de la Tabla 3.36 respecto a la Estabilidad de Localización (EL), muestran que las coberturas terrestres naturales que presentaron mayores porcentajes fueron la de *Otros humedales* (98.60%), *Otra vegetación* (94.58%) y *Manglar* (93.99%), En cálculo de la Estabilidad de Residencia (ER) la cobertura de *Desarrollo antrópico* obtuvo una razón de cambio de 311.98%.

La clase que presentó el índice más bajo de la EL fue la cobertura *Agrícola-pecuaria* (29.12%), indicando de esta manera su mayor susceptibilidad a transformarse en otras coberturas, lo cual se ve reforzado con la obtención más baja de la ER (-6.98). El cambio se dio principalmente a *Otra vegetación* (13,178 ha), a su vez, la clase *Otra vegetación* cambió principalmente a la clase *Agrícola-pecuaria* (13,364 ha), resultando una ganancia neta para esta última clase de 186 ha. De manera que la clase *Agrícola-pecuaria* fue inestable en su localización pero su superficie no varió mucho al final del periodo.

Aunque prácticamente en toda la zona de estudio se registraron áreas de pérdidas de manglar, la mayor superficie se perdió en el norte del estado, desde Holbox hasta Puerto Morelos (Figura 3.50) donde se perdieron al menos 4,500 ha de superficie de manglar.



Figura 3.50. Parte norte de Quintana Roo. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1981 - 2005.

Tabla 3.36. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Quintana Roo (1981-2005).

Clase		1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	6,785.8	1,619.3	18,435.7	293.9	1,621.0	0.0	249.0	147.3	29,152.0
	2.- Agrícola - Pecuaria	23.5	6,137.1	13,364.2	2.8	7.9	0.0	64.7	5.4	19,605.6
	3.- Otra vegetación	241.2	13,178.2	616,735.0	149.7	581.2	0.0	1,042.5	74.2	632,002.0
	4.- Sin vegetación	5.1	28.8	787.4	1,953.4	104.5	0.0	200.4	141.3	3,220.9
	5.- Manglar	4.7	3.2	147.5	13.9	129,055.8	0.0	373.0	612.1	130,210.2
	6.- Manglar perturbado	0.0	0.0	0.0	0.4	461.3	0.0	0.0	2.1	463.8
	7.- Otros humedales	4.5	107.0	2,477.7	6.7	4,295.1	0.0	234,004.0	316.9	241,211.9
	8.- Cuerpos de agua	11.3	3.6	104.9	405.4	1,180.0	0.0	1,402.1	744,986.2	748,093.5
Total 1981		7,076.1	21,077.2	652,052.4	2,826.2	137,306.8	0.0	237,335.7	746,285.5	1,803,959.9
EL %		95.90	29.12	94.58	69.12	93.99	n.a.	98.60	99.83	
ER %		311.98	-6.98	-3.07	13.97	-5.17	n.a.	1.63	0.24	

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9, la cual podría presentar sobreposición en ambas fechas. Cartografía digital relacionada: ROO_CC_ccl.shp y ROO_CM_ccl.shp.

Tabla 3.37. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Quintana Roo (1981-2005).

Tabla 5.157: Matriz de probabilidads de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Qamanda Robo (1981-2005).										
Mapa 1981										
	Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	0.38	0.09	1.02	0.02	0.09	0.00	0.01	0.01	1.62
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.00	0.34	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08
	3.- Otra vegetación	0.01	0.73	34.19	0.01	0.03	0.00	0.06	0.00	35.03
	4.- Sin vegetación	0.00	0.00	0.04	0.11	0.01	0.00	0.01	0.01	0.18
	5.- Manglar	0.00	0.00	0.01	0.00	7.15	0.00	0.02	0.03	7.21
	6.- Manglar perturbado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03
	7.- Otros humedales	0.00	0.01	0.14	0.00	0.24	0.00	12.97	0.02	13.38
	8.- Cuerpos de agua	0.00	0.00	0.01	0.02	0.07	0.00	0.08	41.30	41.48
	Total 1981	0.39	1.17	36.15	0.16	7.62	0.00	13.15	41.37	100.01

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras

Patrones e índices espaciales

El periodo de estudio en el estado de Quintana Roo fue 1981-2005, los resultados de los atributos e índices estimados se observan en la Tabla 3.38. El área de manglar se redujo en 7,700 ha y el número de parches en la Fecha 2 fue mayor que en la Fecha 1. La disminución del área total de manglar debido principalmente al cambio de la cobertura a otros humedales y desarrollo antrópico en el estado de Quintana Roo permitió el incremento en el número de parches a partir de la fragmentación y división de los parches más grandes.

Tabla 3.38. Atributos e índices de la clase Manglar en el estado de Quintana Roo.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM (%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	IF	IIC
F1	137,910	3,797	18.37	36.32	0.01	0.01	0.71	50.92	0.0008
F2	130,210	4,123	19.41	31.58	0.02	0.02	0.74	42.77	0.0007

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; NP: Número de Parches; IPM: Índice de Parche Mayor; AP: Área promedio de los parches; IA_L: Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; IA_S: Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; R_c: Dispersión de parches; IF: Índice de fragmentación; IIC: Índice Integral de conectividad.
En negrillas se muestra el valor más alto.

La dominancia del parche de manglar con mayor superficie (19.4) es más alta en 2005 que en 1981 (18.4). Este incremento se explica principalmente por la reducción del área total de manglar en 2005, más que por un incremento en la superficie del parche más grande.

La disminución del área total y el incremento del número de parches de manglar fueron acompañados con la reducción del área promedio de los parches (Tabla 3.38). El valor de diferencia para el AP entre las dos fechas fue de 7.7 ha y fue estadísticamente no significativo ($p = 0.739$; $Z = -0.333$).

En relación a las tendencias encontradas en la distribución de frecuencias en el tamaño de los parches de manglar para Quintana Roo fueron muy similares al estado colindante Yucatán (analizado anteriormente) ya que también el 84% de los parches estimados en este análisis presentaron un tamaño entre 1 a 10 hectáreas en las dos fechas. El 90% de los fragmentos estuvieron fuertemente sesgados a un tamaño menor a 20 hectáreas para la Fecha 1, y de 19 ha para la Fecha 2. Además en Quintana Roo se encontró una gran cantidad de parches con superficies mayores a 100 ha. Para la Fecha 1 se encontraron 111 y para la Fecha 2 se encontraron 127 parches (Figura 3.51). En esta categoría sobresale en la Fecha 1 un parche mayor a 23,700 ha que para la Fecha 2 se mantiene en las mismas condiciones. Este parche se encuentra localizado en el Área Natural Protegida de Sian Ka'an, lo cual indica que la inaccesibilidad a la zona junto a las medidas y políticas de protección está coadyuvando al mantenimiento de los manglares en esta zona específica.

En esta región, el índice de amenaza por longitud de frontera y el de amenaza por superficies adyacentes para las Fecha 1 y 2 muestran los valores más bajos de la costa con el Océano Atlántico, ambos con valores de 0.1 para la primera fecha y de 0.2 para la segunda. Estos bajos niveles de amenaza se tradujeron en pérdidas relativamente pequeñas para la clase manglar durante el periodo de estudio. Cabe mencionar que el análisis es a escala estatal, lo que minimiza el efecto de las actividades antrópicas que han estado focalizadas en el norte de Quintana Roo.

El valor de dispersión de parches (R_c), indica que los parches de manglar para ambas fechas (R_c < 1), presentaron una distribución agregada en el área de estudio. El índice de fragmentación (IF) presentó para la Fecha 2 (42.8) el menor valor obtenido en relación con la Fecha 1 (50.9). En Quintana Roo, la mayor causa de fragmentación es el desarrollo antrópico por la construcción de infraestructura turística y la

construcción de carreteras que en algunos casos derivan en cambios de hidrología y cambio de cobertura de manglar a otros humedales.

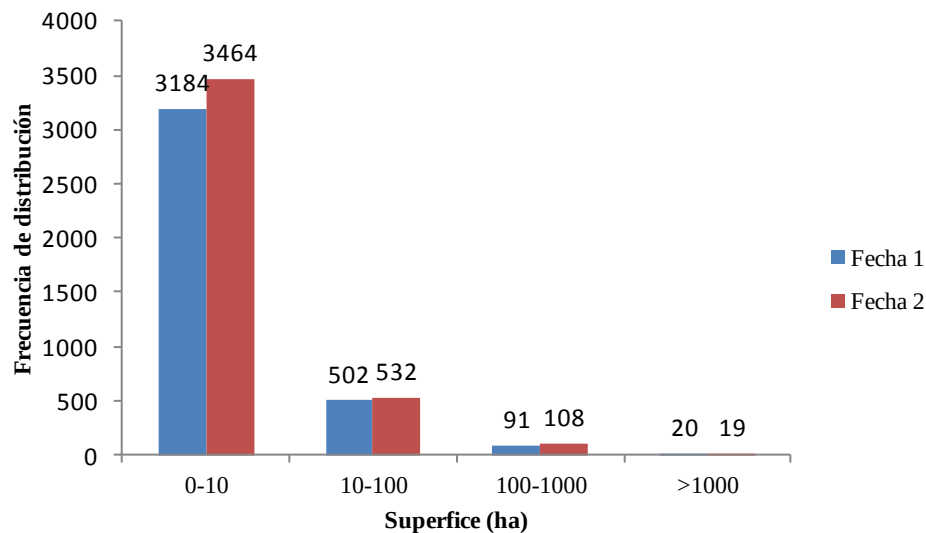


Figura 3.51. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Quintana Roo.

De los 3,797 parches de manglar observados en la Fecha 1 en el estado de Quintana Roo tres de ellos (en total 41,297.85 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) *Alto* y *Muy Alto*, mientras que en la Fecha 2, de los 4,123 parches de manglar presentes en esa fecha, se lograron identificar dos parches (en total 31,608.06 ha) con valor de IIC relevante (*Muy alto* y *Alto*) (Figura 3.52 y Mapas 11 y 12 del Anexo 2).

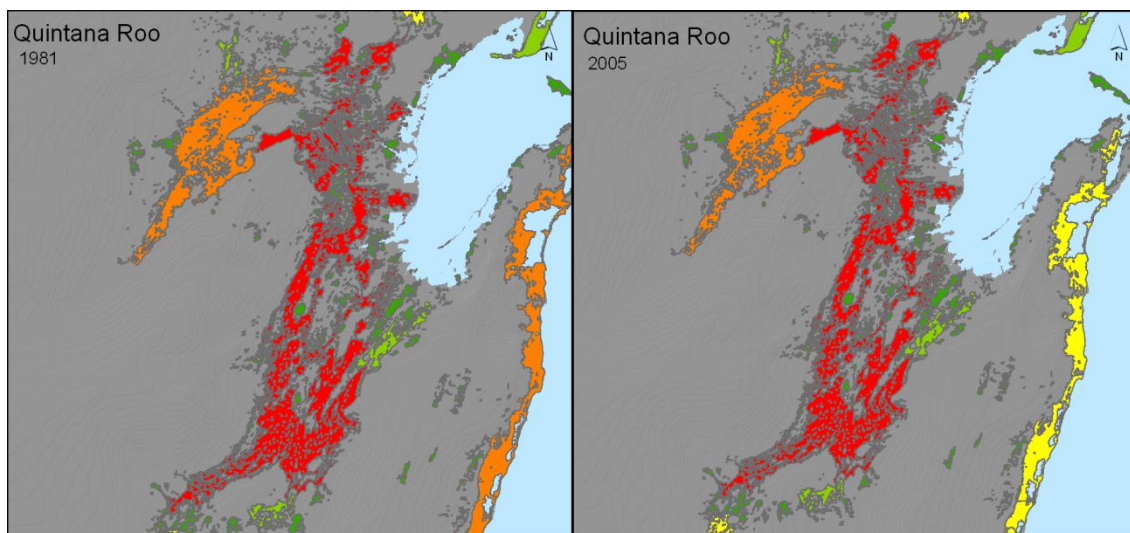


Figura 3.52. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Quintana Roo

Simbología: Rojo = Muy alto, Naranja = Alto, Amarillo = Medio, Verde claro = Bajo y Verde oscuro = Muy bajo, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua

La superficie del parche con valor más alto de IIC para la Fecha 1 fue de 23,749 ha, mientras que para la Fecha 2, la superficie del parche con valor más alto de IIC fue de 23,746 ha (Figura 3.53), este parche se

encuentra entre las áreas protegidas de Sian Ka'an y Uaymil. En este caso se registró una disminución de tres ha de la superficie total de manglar del parche con mayor valor de IIC, lo cual indica poca perturbación en este parche. Si bien el parche con mayor valor de IIC se modificó en muy poco, el total de la superficie de manglar con un valor Muy alto o Alto de IIC para todo el estado en general disminuyó 9,689.79 ha.

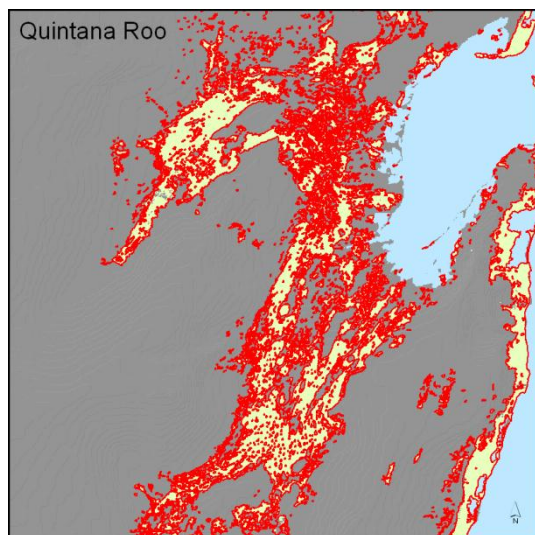


Figura 3.53. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Quintana Roo.

Simbología: Contorno rojo = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1, Verde = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 2, Gris: Porción terrestre, Azul = Agua.

Baja California

Validación mapa 2005

Debido a la poca extensión de área, no hubo datos de campo suficientes para contar con la representatividad requerida para hacer un análisis de validación.

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para 1982 (Fecha 1) y 2005 (Fecha 2) de Baja California, estos se presentan en la Figura 3.54 y Tabla 3.39, así como en el Anexo 1, Mapas 25 al 28.

Para el estado de Baja California, el área de estudio es de 16,354 ha, que representa el 0.19% del total nacional. En el año inicial la mayor cobertura terrestre correspondía a la clase *Otra vegetación*, que ocupaba el 82.25% de la superficie total, mientras que el resto de las clases ocupaban valores cercanos al 1% de la superficie total (*Otros humedales* 1.05%, *Sin vegetación* 0.76%, *Desarrollo antrópico* 0.62% y *Manglar* 0.22%).

Para el año 2005 la clase *Otra vegetación* continua siendo la clase dominante con el 81.23% de la superficie total, aunque presentó una pérdida de 166 ha con respecto a la Fecha inicial. La clase *Desarrollo antrópico* aumentó su área de cobertura en un 169.33%, esto como consecuencia del crecimiento de las localidades urbanas y la construcción de nuevas carreteras (Figura 3.55).

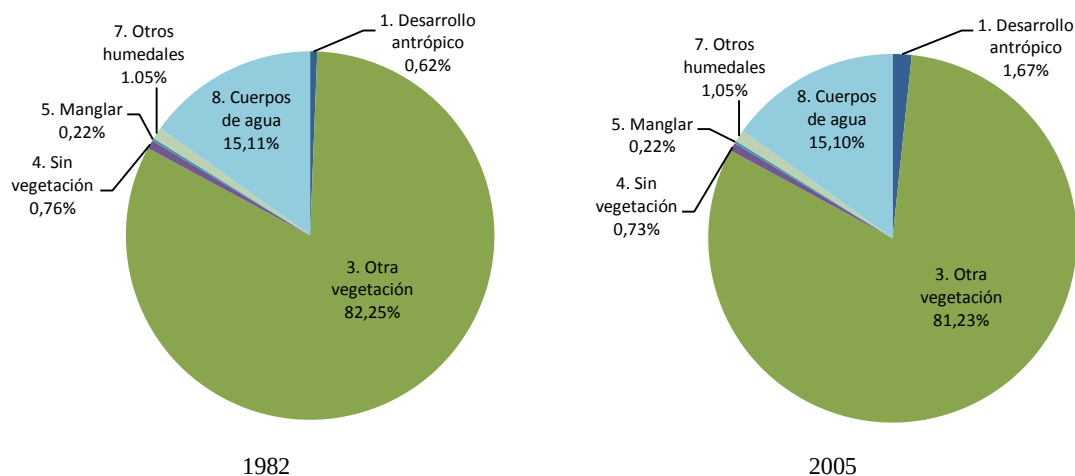


Figura 3.54. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Baja California en 1982 y 2005.

En lo que respecta a la tasa de cambio anual (r), la clase *Desarrollo antrópico* tuvo el valor más alto, con un crecimiento de 2.01% por año.

Los resultados obtenidos para la Estabilidad de Localización (EL) se encuentran en la Tabla 3.40, en donde se muestra la proporción de cada clase que permanece en la misma categoría y en la misma ubicación al inicio y al final del periodo de cambio. Los mayores porcentajes corresponden a las clases *Manglar* y *Otros humedales*, que no presentaron cambio alguno en el periodo de tiempo comprendido entre los datos de la Fecha 1 y Fecha 2 (EL=100% y ER=0%), seguidas de las clases terrestres *Otra vegetación* y *Sin vegetación*, que presentaron un valor de EL de 98.65% y 96.29% respectivamente. La

clase *Desarrollo antrópico* presento una EL de 88.46%. Así mismo esta última clase presenta la mayor Estabilidad de Residencia (ER), que se refiere al porcentaje de cambio para cada clase dentro del área de estudio durante el periodo de seguimiento, con un 169.33%, que indica un incremento muy alto en su cobertura comparada con el año inicial.

Tabla 3.39. Extensión del uso del suelo y vegetación en Baja California (1982-2005).

Clase	1982		2005		+/- Netas	r (%)
	ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	101.4	0.62	273.1	1.67	171.7	2.01
2.- Agrícola - Pecuaria	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	n.a.
3.- Otra vegetación	13,450.7	82.25	13,285.3	81.23	-165.4	-0.02
4.- Sin vegetación	124.1	0.76	119.5	0.73	-4.6	-0.34
5.- Manglar	35.7	0.22	35.7	0.22	0.0	0.00
6.- Manglar perturbado	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	n.a.
7.- Otros humedales	171.2	1.05	171.2	1.05	0.0	0.00
8.- Cuerpos de agua	2,471.3	15.11	2,469.6	15.10	-1.7	0.00
9.-Otros (nubes y sombras)	0.0	0.00	0.0	0.00	n.a.	n.a.
Total	16,354.4	100.01	16,354.4	100.00		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo de cifras.



Figura 3.55. Bahía de los Ángeles, Baja California. Crecimiento de la clase desarrollo antrópico, en el periodo 1982 – 2005.

En la Tabla 3.41 se observa que la probabilidad de cambio significativa, es el cambio de la clase *Otra vegetación* a *Desarrollo antrópico*, este cambio se debe principalmente a la aplicación por parte del gobierno federal y estatal de políticas dirigidas al fomento del turismo y la sustentabilidad de la región, apoyándose en proyectos encaminados a la construcción de infraestructura turística, principalmente marinas (Danemann *et al.* 2008) y de infraestructura carretera (tramo carretero de Bahía de los Ángeles a La Gringa y el puente terrestre Santa Rosalía-Bahía de los Ángeles).

Un ejemplo de estos proyectos es el que se conoce con el nombre de “Escalera Náutica del Mar de Cortés” (Ramsar 2008a), ahora llamado “Mar de Cortés” (Mozaria-Luna y Danemann 2008), donde se busca que dicho proyecto “...represente un detonante permanente de derrama económica para la región norte del país así como una oportunidad crucial para consolidar el liderazgo de México en materia turística...” (FONATUR 2001), aunque algunos otros autores han argumentado que los objetivos de este proyecto están mal planteados, originando que no se cumplan las metas propuestas, que se presente un alto crecimiento de la población, venta de terrenos ejidales y descontento social (The David & Lucile Packard Foundation *et al.* 2006).

Tabla 3.40. Matriz de detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Baja California (1982-2005).

Mapa 1982									
Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	89.7	0.0	181.7	0.0	0.0	0.0	1.7	273.1
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3.- Otra vegetación	11.7	0.0	13,269.0	4.6	0.0	0.0	0.0	13,285.3
	4.- Sin vegetación	0.0	0.0	0.0	119.5	0.0	0.0	0.0	119.5
	5.- Manglar	0.0	0.0	0.0	0.0	35.7	0.0	0.0	35.7
	6.- Manglar perturbado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	7.- Otros humedales	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	171.2	0.0	171.2
	8.- Cuerpos de agua	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,469.6	2,469.6
Total 1982		101.4	0.0	13,450.7	124.1	35.7	0.0	171.2	16,354.4
EL %		88.46	n.a.	98.65	96.29	100.00	n.a.	100.00	99.93
ER %		169.33	n.a.	-1.23	-3.71	0.00	n.a.	0.00	-0.07

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9, la cual podría presentar sobreposición en ambas fechas. Cartografía digital relacionada: BCN_CC_ccl.shp y BCN_CM_ccl.shp.

Tabla 3.41. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Baja California (1982-2005).

Mapa 1982									
Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	0.55	0.00	1.11	0.00	0.00	0.00	0.01	1.67
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.- Otra vegetación	0.07	0.00	81.13	0.03	0.00	0.00	0.00	81.23
	4.- Sin vegetación	0.00	0.00	0.00	0.73	0.00	0.00	0.00	0.73
	5.- Manglar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.22
	6.- Manglar perturbado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7.- Otros humedales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.00	1.05
	8.- Cuerpos de agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.10	15.10
Total 1982		0.62	0.00	82.24	0.76	0.22	0.00	1.05	100.00

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Patrones e índices espaciales

En la Tabla 3.42 se muestran los resultados del cálculo de los diferentes índices aplicados a la distribución de manglares en el estado de Baja California en 1982-2005. Se puede observar que no hubo variaciones en el área de manglar ni en el número de parches entre fechas.

Tabla 3.42. Atributos e índices de la clase manglar en el estado de Baja California.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM (%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	F	IIC
F1	35	8	32.89	4.46	0.00	0.00	0.96	4.65	0.281
F2	35	8	32.89	4.46	0.00	0.04	0.96	4.65	0.281

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; NP: Número de Parches; IPM: Índice de Parche Mayor; AP: Área promedio de los parches; IA_L: Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; IA_S: Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; R_c: Dispersión de parches; IF: Índice de fragmentación; IIC: Índice Integral de conectividad.

En negrillas se muestra el valor más alto.

Debido a que no hubo cambios en los atributos e índices calculados para las dos fechas en el estado de Baja California, especialmente en el tamaño y número de parches no se realizó la prueba de Mann-Whitney para determinar diferencias estadísticamente significativas.

En relación a la frecuencia de distribución en el tamaño de parches, podemos indicar que el 100% de los parches presentaron un tamaño menor a 12 hectáreas en las dos fechas. En esta categoría el parche con mayor superficie apenas sobrepasa las 11 ha (Figura 3.56).

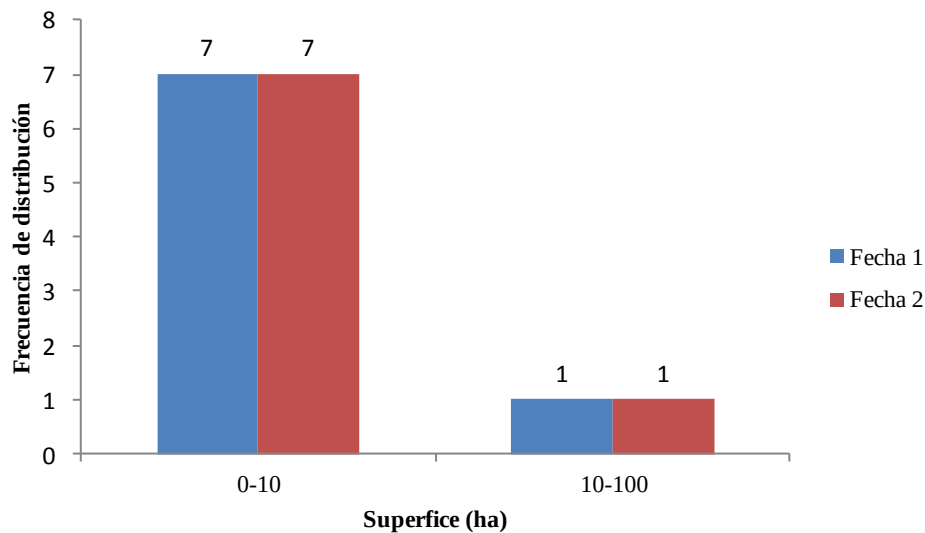


Figura 3.56. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Baja California.

Con relación a los Índices de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas y superficie de clases antrópicas adyacentes, muestran valores muy bajos, de hecho el IA_L no presenta cambios entre las Fechas 1 y 2, mientras que para el IA_S presenta un aumento en sus valores de 0.04, pero no repercuten de forma directa en la disminución de la superficie de manglar, ya que esta se mantiene sin cambios en el mismo periodo de tiempo.

El valor de dispersión de parches (R_c) indica que los manglares presentaron una distribución agregada ($R_c < 1$). Como ocurre en los demás casos el índice de fragmentación (IF) no presenta modificaciones entre ambas fechas de estudio. Debido a que el valor obtenido (4.6) es cercano a 0, nos indica que la fragmentación de esta cobertura en el estado es muy fuerte. Sin embargo hay que considerar que la distribución del manglar está restringida debido a factores naturales y topográficos de la parte norte de la península de Baja California, dando como resultado una alta fragmentación que es característica de la zona de estudio.

De los 8 parches de manglar observados tanto en la Fecha 1 como en la dos en el estado de Baja California, cuatro de ellos (en total 29.53 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) *Alto* y *Muy Alto* (Figura 3.57 y Mapas 13 y 14 del Anexo 2). La superficie del parche con valor más alto de IIC para las dos fechas fue de 11.39 ha y se encuentra frente al sitio conocido como La Mona.

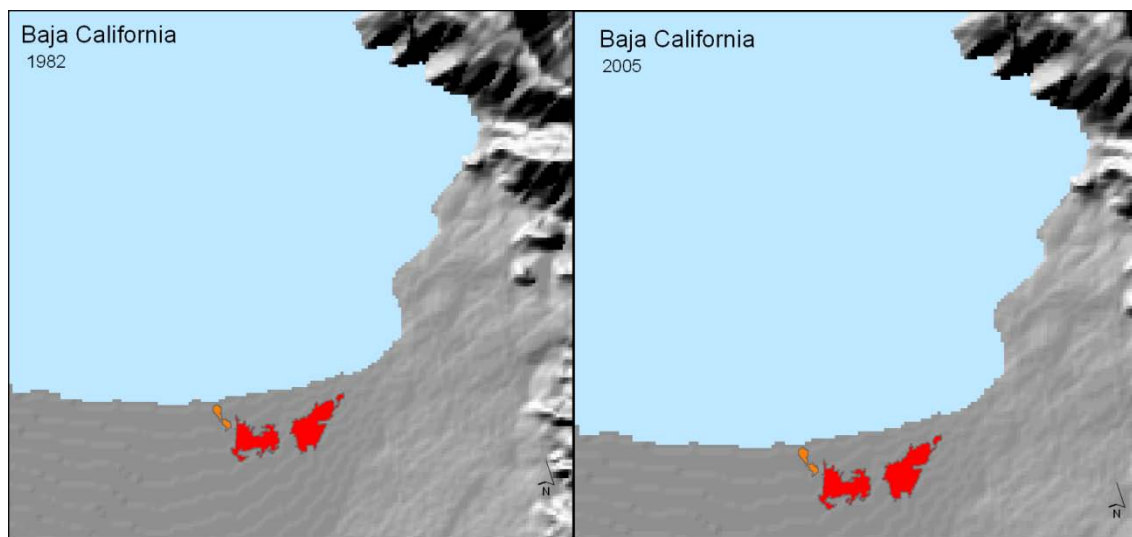


Figura 3.57. Distribución del parche con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Baja California, resultando ser el mismo.

Baja California Sur

Validación mapa 2005

La evaluación de la exactitud del mapa de uso del suelo y vegetación del 2005 de Baja California Sur se obtuvo a partir de 137 fotografías aéreas digitales de alta resolución más 55 puntos muestreados por otras instituciones (ver sección de materiales y métodos). La exactitud global del mapa de uso del suelo y vegetación para la Fecha 2 de Baja California Sur es de 85.62% (Tabla 3.43) con un coeficiente de Kappa de 0.77. Sin embargo, al calcular la exactitud con la matriz ponderada con la superficie de cada clase en el mapa, para evitar el sesgo provocado por el tipo de muestreo seleccionado, la exactitud global estimada disminuyó a 82.52% (Tabla 3.44) y el índice de Kappa a 0.68.

Tabla 3.43. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Baja California Sur.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	2	0	0	0	2	0.00
	3.- Otra vegetación	0	30	1	2	33	9.09
	5.- Manglar	0	5	81	3	89	8.99
	7.- Otros humedales	0	5	5	12	22	45.45
	Total	2	40	87	17	146	Exactitud Global %
Error de Omisión %						85.62	
Exactitud Productor %						85.62	
^K						0.77	

Tabla 3.44. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Baja California Sur, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	1.92	0.00	0.00	0.00	1.92	0.00
	3.- Otra vegetación	0.00	56.16	1.87	3.74	61.78	9.09
	5.- Manglar	0.00	0.72	11.58	0.43	12.73	8.99
	7.- Otros humedales	0.00	5.36	5.36	12.86	23.58	45.45
	Total	1.92	62.24	18.81	17.03	100	Exactitud Global %
Error de Omisión %						82.52	
Exactitud Productor %						82.52	
^K						0.68	

Las exactitudes de clasificación encontradas para la clase manglar indican que tan sólo un 8.99% de los puntos muestreados en *Manglar* fueron omitidos en su clasificación. Sin embargo, se ha subestimado la clase *Manglar* con una error de omisión del 38.43%. Las confusiones suceden principalmente con la clase *Otros humedales* debido a confusiones espectrales en los manglares chaparros de la península de Baja California. Como resultado de la poca representatividad de la clase *Agrícola-pecuaria* tanto en puntos de campo como en extensión cartografiada esta clase presenta una exactitud del 100%. *Otros humedales* presentan errores de omisión del 24% y de comisión del 45%, siendo confundidos con *Manglar* y *Otra vegetación*.

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para de 1978 (Fecha 1) y 2005 (Fecha 2) de Baja California Sur, estos se presentan en la Figura 3.58 y Tabla 3.45, así como el Anexo 1, Mapas 29 a 32.

Para el estado de Baja California Sur, el área de estudio es de 508,715 ha, que representa el 5.91% del total nacional. En el año inicial la clase *Otra vegetación* ocupaba cerca de un 46% del área total, lo que la ubica como la clase con mayor extensión en ese año, seguida de la cobertura terrestre *Otros humedales* con un 10.64%. La clase de *Manglar* para ese año ocupaba un 5.25% del área total.

Para el año 2005, la distribución de la superficie entre las clases terrestres no presenta grandes cambios, el territorio se mantiene con cierta estabilidad de forma general. Así pues, la clase *Otra vegetación* sigue siendo la que más superficie ocupa con un 45.65%, seguida de *Otros humedales* con un 10.39% y la clase de *Manglar* un 5.21%.

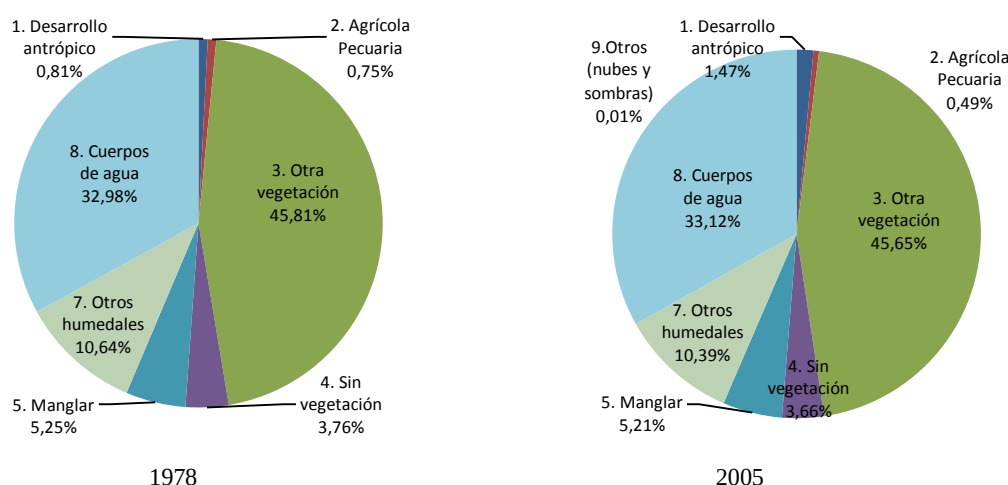


Figura 3.58. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Baja California Sur en 1978 y 2005.

Tabla 3.45. Extensión del uso del suelo y vegetación en Baja California Sur (1978-2005).

Clase	1978		2005		+/- Netas	r (%)
	ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	4,105.9	0.81	7,457.8	1.47	3,351.9	2.30
2.- Agrícola - Pecuaria	3,793.0	0.75	2,503.1	0.49	-1,289.9	-1.66
3.- Otra vegetación	233,039.3	45.81	232,237.7	45.65	-801.6	-0.01
4.- Sin vegetación	19,143.0	3.76	18,617.2	3.66	-525.8	-0.10
5.- Manglar	26,724.5	5.25	26,519.2	5.21	-205.3	-0.03
6.- Manglar perturbado	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	n.a.
7.- Otros humedales	54,120.8	10.64	52,836.6	10.39	-1,284.2	-0.09
8.- Cuerpos de agua	167,788.1	32.98	168,510.8	33.12	722.7	0.02
9.-Otros (nubes y sombras)	0.0	0.00	32.2	0.01	n.a.	n.a.
Total	508,714.6	100.00	508,714.6	100.00		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Aunque los cambios en el paisaje no han sido tan notorios, esto no quiere decir que las diferentes clases no hayan sufrido cambios o modificaciones en sus áreas de cobertura. La clase que presenta mayores cambios

en el periodo de estudio es la de *Desarrollo antrópico*, que aumentó su superficie en un 81.64% con respecto a la superficie que tenía en la Fecha 1 (Figura 3.59), la cual ocupó principalmente áreas cubiertas por la clase *Agrícola-pecuaria* y con *Otra vegetación*, mientras que la clase *Agrícola-pecuaria* perdió un 34% de su cobertura inicial, pasando principalmente a la clase *Desarrollo antrópico*.

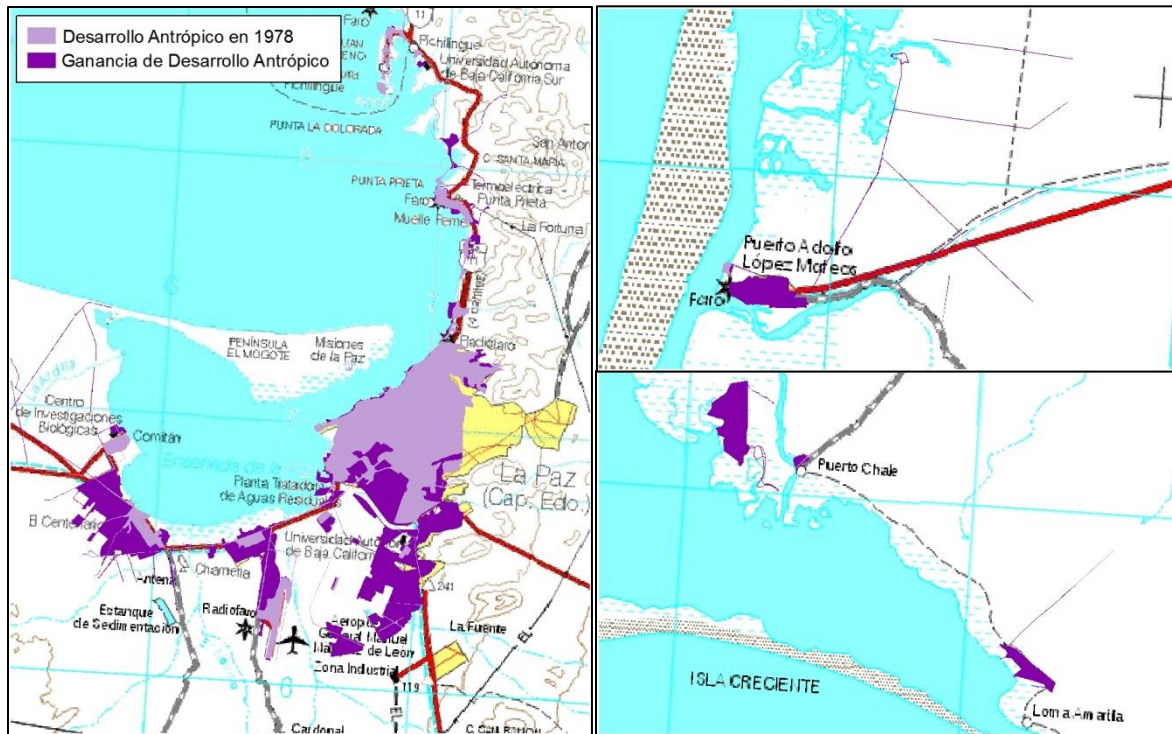


Figura 3.59. La Paz, Puerto Adolfo López Mateos y Puerto Chale, Baja California Sur. Áreas de crecimiento de la clase desarrollo antrópico, en el periodo 1978 – 2005.

Los resultados obtenidos para la Estabilidad de Localización (EL) se encuentran contenidos en la Tabla 3.46, esta Tabla muestra el porcentaje que tiene cada tipo de cobertura para permanecer como la misma clase, en la misma ubicación, al inicio y al final del periodo de estudio. De manera que cinco de las siete clases terrestres tuvieron una EL superior al 90%, indicando que no tuvieron muchos cambios durante el periodo de estudio. Dichas clases son: *Manglar* (99.03%), *Otra vegetación* (98.97%), *Desarrollo antrópico* (98.06%), *Otros humedales* (96.85%) y *Sin vegetación* (91.45%).

La clase con menor EL fue la clase *Agrícola-pecuaria*, con un 50.96% lo cual implica que la mitad de la extensión que cubría en la Fecha 1 cambió a otras clases, en su mayoría a *Desarrollo antrópico* (57.52%) para la Fecha 2, explicando también la tasa de transformación negativa de -1.66% mostrada en la Tabla 3.45.

En cuanto a la Estabilidad de Residencia (ER), la Tabla 3.46 muestra que la clase que obtuvo el valor más alto fue *Desarrollo antrópico*, con un porcentaje de 81.64%, mientras que la clase *Agrícola-pecuaria* tuvo el menor valor (-34.01%).

El factor de cambio más importante a tenerse en cuenta en el área de estudio, es el incremento en las áreas identificadas como *Desarrollo antrópico*, principalmente como consecuencia de las políticas implementadas por el gobierno federal y estatal, encaminadas al desarrollo de infraestructura turística (Danemann *et al.* 2008) y de carreteras (Ramsar 2008a), buscando con esto una mayor sustentabilidad de la región, de acuerdo con los objetivos planteados en el proyecto “Escalera Náutica del Mar de Cortés”, ahora sólo llamado “Mar de Cortés” (Mozaria-Luna y Danemann 2008).

La reducción de la zona de *Manglar* en el periodo de estudio se debió principalmente a las clases *Otros humedales* y *Sin vegetación*, 39.53% y 28.68% respectivamente (Figura 3.60).

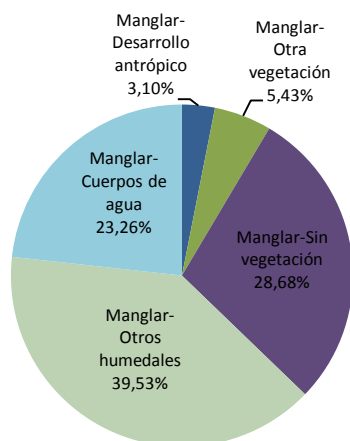


Figura 3.60. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Baja California Sur durante el periodo 1978 – 2005.

Aunque la clase de *Manglar* tuvo un valor bajo de tasa de transformación ($r=-0.03$), que corresponde a una disminución de 205 ha, es importante mencionar que en algunas áreas como “Bahía Magdalena”, se ha demostrado que la cobertura vegetal de *Manglar* está siendo impactada de forma directa por la tala indiscriminada y remoción de mangle, principalmente para la instalación de fábricas de conserva para la pesquería y muelles, además de que se presenta la fragmentación de la comunidad de manglar como consecuencia de la construcción de una central hidroeléctrica y del mantenimiento de su tubería (Whitmore *et al.* 2005).

En esta región se presentan fenómenos naturales como el de “El Niño” (Arriaga *et al.* 1998), los cuales pueden afectar a los manglares por las alteraciones en niveles de marea, sedimentación y salinidad.

Tabla 3.46. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Baja California Sur (1978-2005).

Mapa 1978										
Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005	
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	4,026.3	1,070.0	1,716.1	98.7	7.6	0.0	463.1	76.0	7,457.8
	2.- Agrícola - Pecuaria	10.1	1,932.8	525.4	34.8	0.0	0.0	0.0	0.0	2,503.1
	3.- Otra vegetación	65.9	643.3	230,604.5	341.8	14.3	0.0	523.2	44.7	232,237.7
	4.- Sin vegetación	1.1	146.6	118.1	17,505.7	74.5	0.0	160.2	611.0	18,617.2
	5.- Manglar	0.0	0.0	3.2	3.1	26,466.6	0.0	26.2	20.1	26,519.2
	6.- Manglar perturbado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	7.- Otros humedales	1.9	0.0	26.7	241.5	101.9	0.0	52,415.0	49.6	52,836.6
	8.- Cuerpos de agua	0.6	0.3	13.1	917.4	59.6	0.0	533.1	166,986.7	168,510.8
Total 1978	4,105.9	3,793.0	233,007.1	19,143.0	26,724.5	0.0	54,120.8	167,788.1	508,682.4	
EL %	98.06	50.96	98.97	91.45	99.03	n.a.	96.85	99.52		
ER %	81.64	-34.01	-0.33	-2.75	-0.77	n.a.	-2.37	0.43		

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9, la cual podría presentar sobreposición en ambas fechas. Cartografía digital relacionada: BCS_CC_ccl.shp y BCS_CM_ccl.shp.

Tabla 3.47. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Baja California Sur (1978-2005).

Tabla 5-47: Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Baja California Sur (1978-2005).										
		Mapa 1978								
	Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	0.79	0.21	0.34	0.02	0.00	0.00	0.09	0.02	1.47
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.00	0.38	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49
	3.- Otra vegetación	0.01	0.13	45.33	0.07	0.00	0.00	0.10	0.01	45.65
	4.- Sin vegetación	0.00	0.03	0.02	3.44	0.01	0.00	0.03	0.12	3.65
	5.- Manglar	0.00	0.00	0.00	0.00	5.20	0.00	0.01	0.00	5.21
	6.- Manglar perturbado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7.- Otros humedales	0.00	0.00	0.01	0.05	0.02	0.00	10.30	0.01	10.39
	8.- Cuerpos de agua	0.00	0.00	0.00	0.18	0.01	0.00	0.10	32.83	33.12
Total 1978		0.80	0.75	45.80	3.77	5.24	0.00	10.63	32.99	99.98

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Patrones e índices espaciales

Los resultados del cálculo de los diferentes índices aplicados a la distribución de manglares en el estado de Baja California Sur en el periodo 1978-2005 se muestran en la Tabla 3.48. Se puede observar que el área de manglar se redujo en 205 ha y que el número de parches en la Fecha 2 también se incremento ligeramente con relación a la Fecha 1.

Tabla 3.48. Atributos e índices de la clase manglar en el estado de Baja California Sur.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM (%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	IF	IIC
F1	26,724	891	5.46	29.99	0.00	0.01	0.74	40.51	0.0123
F2	26,519	897	5.49	29.56	0.00	0.02	0.74	40.10	0.0126

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; NP: Número de Parches; IPM: Índice de Parche Mayor; AP: Área promedio de los parches; IA_L: Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; IA_S: Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; R_c: Dispersión de parches; IF: Índice de fragmentación; IIC: Índice Integral de conectividad.

En negrillas se muestra el valor más alto.

Para 2005 el índice de parche mayor calculado presenta un incremento mínimo con relación a 1978, lo cual nos indica que los cambios espaciales en el periodo de análisis para la cobertura de manglar no fueron perceptibles.

A nivel estatal los cambios que se produjeron en el área total de manglar, el incremento de parches en la Fecha 2 con relación a la Fecha 1, así como la ligera reducción del AP de los parches (Tabla 3.48), cuya diferencia fue de 0.43 ha, lo que muestra una diferencia estadísticamente no significativa ($p = 0.850$; $Z = 0.189$).

Aproximadamente el 67% de los parches estimados en este análisis presentan un tamaño entre 1 a 10 hectáreas en las dos fechas. Aunque 90% de los fragmentos se encuentran fuertemente sesgados a un tamaño menor de 75 ha para ambas fechas. En contraste, sólo 69 (Fecha 1) y 68 (Fecha 2) parches fueron determinados con superficies mayores a 100 ha (Figura 3.61). En esta categoría sobresale en la Fecha 1 un parche mayor a 1,400 ha que para la Fecha 2 se mantiene invariable. Este parche se encuentra en Bahía Magdalena donde existe vigilancia y protección por ser refugio de la ballena gris. Aunado a la baja población humana presente en Baja California Sur en el periodo de estudio.

El índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas, muestra un valor sin cambios, es decir de 0.00 de Fecha 1 a Fecha 2, mientras que los valores del Índice de superficies de clases antrópicas adyacentes, el cambio es mínimo de 0.01 para las mismas fechas. Este aumento en la superficie de clases antrópicas adyacentes, ha repercutido en la pérdida de 205.16 ha de superficie de manglar. Aunque pareciera no ser significativo, la tendencia actual en los programas sociales y económicos están siendo dirigidos hacia el desarrollo de infraestructura turística, lo que puede acarrear grandes cambios en la superficie de este tipo de vegetación en un mediano plazo, por este motivo resulta importante monitorear los valores de estos índices.

El valor de dispersión de parches (R_c) no sufrió variaciones entre ambas fechas (R_c < 1), e indica que los manglares presentaron una distribución agregada. Los valores obtenidos en el índice de fragmentación (IF) para ambas fechas (Fecha 1 = 40.5 y Fecha 2= 40.1) indica que la fragmentación fue mínima o casi no existió en este periodo de tiempo. Probablemente la baja densidad poblacional en el estado, aunado al desarrollo del turismo ecológico (ej. Observación de ballenas y otros animales marinos) ha derivado en una baja transformación en la cobertura de manglar en el periodo de estudio.

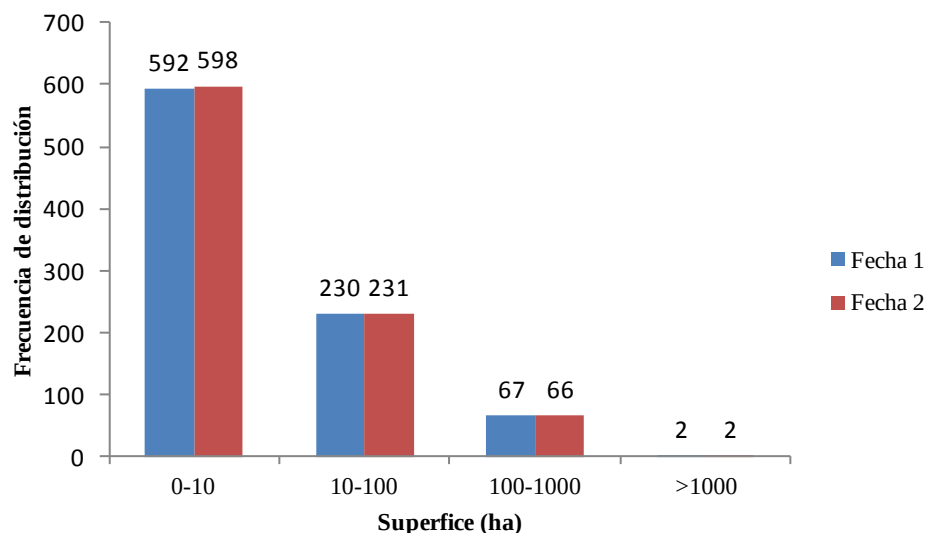


Figura 3.61. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Baja California Sur.

De los 891 parches de manglar observados en la Fecha 1 en el estado de Baja California Sur nueve de ellos (en total 4,599 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) *Alto* y *Muy Alto*, mientras que en la Fecha 2, de los 897 parches de manglar presentes en esa fecha, se lograron identificar diez parches (en total 4,542 ha) con valor de IIC relevante (*Muy alto* y *Alto*) (Figura 3.62 y Mapas 15 y 16 del Anexo 2).

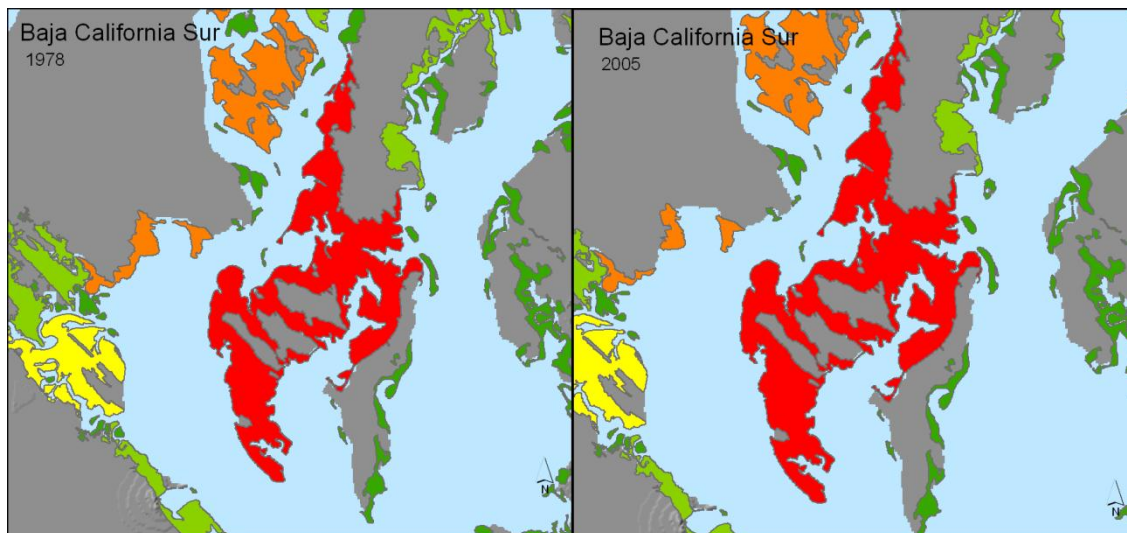


Figura 3.62. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Baja California Sur.

Simbología: Contorno rojo = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1, Verde = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 2, Gris: Porción terrestre, Azul = Agua.

La superficie del parche con valor más alto de IIC para la Fecha 1 fue de 1,490 ha, para la Fecha 2 la superficie del parche con valor más alto de IIC fue la misma. En este caso no se registró ninguna modificación de la superficie total de manglar del parche con mayor valor de IIC, lo cual indica poca perturbación en el estado en general y se ubica frente al canal San Gil. Si bien el parche con mayor valor

de IIC no se modificó, el total de la superficie de manglar con un valor Muy alto o Alto de IIC en general disminuyó 57 ha.

Sonora

Validación mapa 2005

La validación para el estado de Sonora se realizó usando 103 fotografías aéreas de alta resolución tomadas por CONABIO más 72 puntos de validación provenientes de otras instituciones (ver sección de materiales y métodos), por lo que en total se obtuvieron 175 puntos de los cuales se presenta la evaluación de 138 correspondientes a las 4 clases evaluadas. La exactitud global del mapa de uso del suelo y vegetación para el 2005 de Sonora es de 81.16% (Tabla 3.49). Al generar la matriz de confusión ponderada por las áreas correspondientes a cada clase del mapa para evitar el sesgo provocado por el tipo de muestreo seleccionado, la exactitud global estimada disminuye a 70.31% (Tabla 3.50), debido a que el manglar esta sobremuestreado dada la relación del porcentaje de puntos obtenidos del vuelo CONABIO, con respecto del área que ocupan, mientras que el índice de Kappa disminuyó a 0.58.

Tabla 3.49. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Sonora.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	26	0	0	0	26	0.00
	3.- Otra vegetación	2	13	1	3	19	31.58
	5.- Manglar	0	1	58	9	68	14.71
	7.- Otros humedales	0	2	8	15	25	40.00
	Total	28	16	67	27	138	Exactitud Global %
Error de Omisión %							81.16
Exactitud Productor %							
^K							0.76

Tabla 3.50. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Sonora, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	13.24	0.00	0.00	0.00	13.24	0.00
	3.- Otra vegetación	4.79	31.13	2.39	7.18	45.50	31.58
	5.- Manglar	0.00	0.07	3.99	0.62	4.68	14.71
	7.- Otros humedales	0.00	2.93	11.70	21.95	36.58	40.00
	Total	18.03	34.13	18.09	29.75	100	Exactitud Global %
Error de Omisión %							70.31
Exactitud Productor %							
^K							0.58

Evaluando la relación entre las confusiones de la clase *Manglar* con la clase *Otros humedales*, se observa una alta subestimación del *Manglar*, clasificado como *Otros humedales* con un error de omisión del 77.92%. El resto de las clases se encuentran en un margen aceptable de validación, siendo la clase *Otros humedales* los más sobrestimados con un 60% de exactitud de usuario debido a confusiones principalmente con *Manglar*. Las confusiones dadas en las clases *Otra vegetación* y *Agrícola-Pecuaria* suceden comúnmente en zonas áridas con vegetación de matorrales xerófilos, debido a su baja respuesta espectral en los canales del infrarrojo, que se confunde con zonas agrícolas con poca vegetación o en descanso.

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para 1973 (Fecha 1) y 2005 (fecha2) de Sonora, estos se presentan en la Figura 3.63 y Tabla 3.51, así como el Anexo 1, Mapas 33 al 36.

Para el estado de Sonora, el área de estudio es de 371,754 ha, que representa el 4.32% del total nacional. En el año inicial se tenían tres clases dominantes en términos de superficie total: *Otra vegetación* (30.56%), *Otros humedales* (28.26%) y *Cuerpos de agua* (26.09%). Para el año 2005 se mantienen la misma proporción, pero existe un cambio de orden, *Otra vegetación* sigue siendo dominante abarcando un 29% del área de estudio, *Cuerpos de agua* ocupa ahora el segundo lugar con 26.1% del área de estudio y *Otros humedales* con el 23.31% del área de estudio.

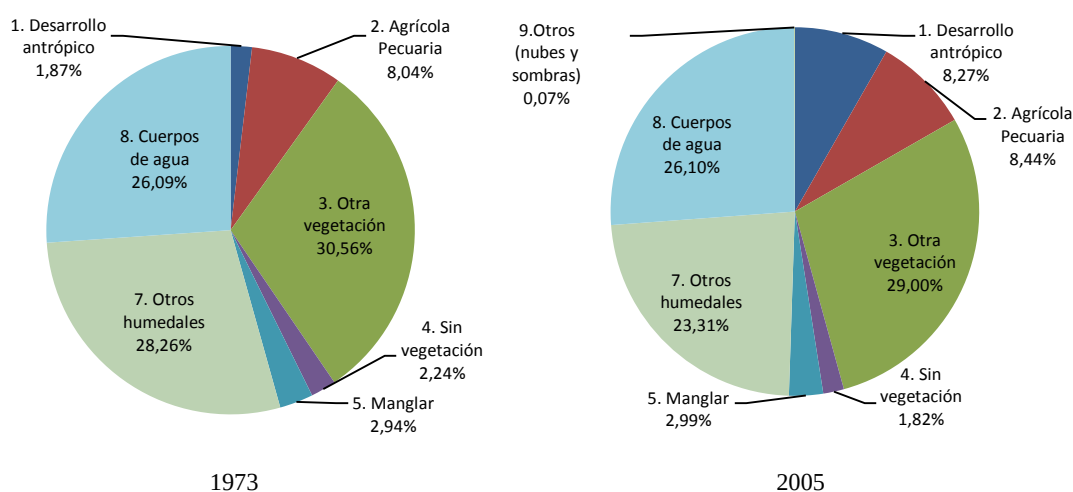


Figura 3.63. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Sonora en 1973 y 2005.

Tabla 3.51. Extensión del uso del suelo y vegetación en Sonora (1973-2005).

Clase	1973		2005		+/- Netas	r (%)
	ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	6,947.7	1.87	30,750.4	8.27	23,802.7	4.83
2.- Agrícola - Pecuaria	29,900.2	8.04	31,378.2	8.44	1,478.0	0.22
3.- Otra vegetación	113,604.7	30.56	107,807.3	29.00	-5,797.4	-0.16
4.- Sin vegetación	8,310.8	2.24	6,772.6	1.82	-1,538.2	-0.64
5.- Manglar	10,939.8	2.94	11,097.8	2.99	158.0	0.05
6.- Manglar perturbado	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	n.a.
7.- Otros humedales	105,065.6	28.26	86,666.2	23.31	-18,399.4	-0.60
8.- Cuerpos de agua	96,984.8	26.09	97,027.6	26.10	42.8	0.00
9.-Otros (nubes y sombras)	0.0	0.00	253.5	0.07	n.a.	n.a.
Total	371,753.6	100.00	371,753.6	100.00		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Resulta notable el incremento en términos de superficie total para la clase *Desarrollo antrópico*, que pasa de ocupar un 1.87% a un 8.28% de la superficie total. Esto se ve reflejado en la tasa de transformación estimada para esta clase (Tabla 3.51), donde con 4.83% de incremento anual, es por mucho la más alta de

todas las clases, seguida de lejos por la clase *Agrícola-pecuaria* (0.22% de incremento anual) y *Manglar*, con un incremento marginal de 0.05% anual (158 ha totales incrementadas en el periodo de estudio).

Por otro lado, tres clases presentaron tasas de transformación negativas (Tabla 3.51, la más baja correspondió a la clase *Sin vegetación* con un -0.64% de tasa de transformación anual, seguida de *Otros humedales* con un -0.6% y *Otra vegetación* con un -0.16%.

En la matriz de detección de cambios (Tabla 3.52), se observa que se presentaron cambios de una categoría a otra en 46,382 ha del área de estudio entre las dos fechas, esto es el 12.5% del área total.

Uno de estos cambios es destacable por la cantidad de área involucrada, es el que se refiere a 19,148 ha de la clase *Otros humedales* que paso a *Desarrollo antrópico*, toda vez que esa superficie integra el 41% de todos los cambios producidos en el periodo de estudio, además de que este mismo cambio representa el 18% de pérdida de superficie de la cobertura original de la clase.

También resultaron notables las 5,036 ha que pasaron de clase *Otra vegetación* a la clase *Agrícola-pecuaria* y 4,868 ha que pasaron de *Otra vegetación* a *Desarrollo antrópico*.

Las clases que mostraron las menores estabildades de localización fueron *Sin vegetación* (EL=62.09%) y *Otros humedales* (EL=78.31%), ambas también vieron reducido al final su área de distribución, obteniendo valores de ER negativos (-18.43% y -17.51%). La clase *Sin vegetación* cedió superficie a *Otros humedales*, *Cuerpos de agua* y *Sin vegetación*, principalmente, y se extendió predominantemente a costa de las clases *Otra vegetación*, *Cuerpos de agua* y *Otros humedales*, pero sin superar el área perdida.

Las clases *Agrícola-pecuaria* y *Desarrollo antrópico* mostraron valores de EL relativamente altos, 83.85% y 81.97% a la vez que valores positivos de ER, 4.96% y 342.6% respectivamente. Las clases *Otra vegetación* y *Manglares* mostraron valores de EL similares (89.99% y 91.40% respectivamente), sin embargo comportamientos diferentes en sus valores de ER.

Al final del periodo la clase *Desarrollo antrópico* obtuvo un crecimiento de 343% en su superficie principalmente a costa de *Otros humedales*, como se mencionó anteriormente.

El 8.72% de superficie original perdida por *Otra vegetación*, pasó a formar parte de las clases *Agrícola-pecuaria* y *Desarrollo antrópico*, principalmente y aunque recuperó algunas hectáreas en el intercambio mencionado con *Agrícola-pecuaria* y *Otros humedales*, básicamente, estas no fueron suficientes para resarcir todas las pérdidas, viendo reducida su superficie de distribución para el 2005 en un 5.1% (ER=-4.90%). La clase *Manglar* en cambio, presentó pérdidas (Figura 3.64) cediendo superficie a *Otros humedales*, *Cuerpos de agua* y *Desarrollo antrópico*, principalmente (en total perdió presencia en 941 ha), pero se recuperó en 1,099 ha, en su mayor parte de las clases *Otros humedales* y *Cuerpos de agua*.

La clase con mayor estabilidad de localización (EL) fue *Cuerpos de agua*, que presentó cambios solamente en un 2.15% de su superficie original, cediendo área principalmente a *Otros humedales* y *Sin vegetación*, pero recuperándose a costa de las mismas clases en otras zonas, lo que al final le dejó con un incremento en su área original o estabilidad de residencia (ER) de 0.04%.

Resumiendo la información anterior encontramos que Sonora presentó un notable incremento en infraestructura y un moderado incremento de las áreas dedicadas a las actividades agrícolas y pecuarias. Esta tendencia se verifica al observar que las probabilidades de cambio más altas entre clases se encuentran entre *Desarrollo antrópico* – *Otros humedales*, así como *Desarrollo antrópico* – *Otra vegetación* y *Agrícola-pecuaria* – *Otra vegetación* (Tabla 3.53). Dentro de esta dinámica de cambios, 941 ha de manglar fueron afectadas y llevadas a otra categoría, pero durante el mismo periodo, los manglares colonizaron nuevas áreas, lo que llevó a que se extendiese en 1,099 para tener como balance en el año 2005, un incremento en 158 ha o 1.44% respecto a su superficie original.

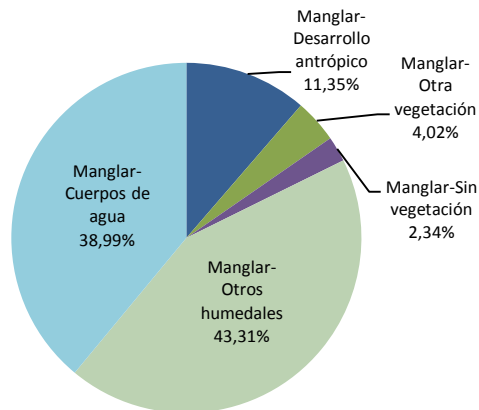


Figura 3.64. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Sonora en 1973 y 2005.

Estos resultados confirman lo observado por otros estudios que habían destacado la capacidad de las comunidades de manglar de la costa del Pacífico en México para colonizar nuevas áreas. Algunas de éstas relacionadas con la acción de las aguas cálidas de la corriente del Niño y un aparente incremento en el nivel del mar (López-Medellín *et al.* 2011). Particularmente sobre el estado de Sonora, una evaluación previa empleando imágenes Landsat MSS de principios de la década de 1970 e imágenes TM del 2005, con una metodología distinta a la seguida en este trabajo, había encontrado un incremento del orden del 10% en la superficie de manglar (Ruiz-Luna *et al.* 2010).

Sonora tradicionalmente se ha caracterizado como un estado agrícola, con grandes distritos de riego que se concentran en la región costera, si bien desde hace varios años, se han comenzado a reportar serios problemas de salinización lo que ha llevado al abandono de terrenos y la apertura de otros para compensar las pérdidas (López 2001). En la década de 1970, se comenzaron a realizar los primeros estudios sistemáticos para el establecimiento de granjas camaronícolas (Dewalt *et al.* 2002). Posteriormente, las reformas a las leyes de tenencia de la tierra a principios de la década de 1990, favorecieron a esta industria, que tuvo un desarrollo explosivo (Cruz-Torres 2000).

Pese al notable incremento en infraestructura detectado en este estudio, mucha de ella relacionada con granjas camaronícolas en la zona, como se había hecho notar por algunos investigadores, en esta región se suelen generar pocas afectaciones de sustitución en manglar (Berlanga-Robles *et al.* 2011), dado que las granjas, a diferencia de otras partes del mundo, suelen establecerse en zonas adyacentes a los manglares en lugar de sobre ellos (Glenn *et al.* 2006). Siendo afectados más en forma indirecta, por los contaminantes, productos del mal manejo de estas instalaciones (Ponce-Palafox *et al.* 2011) o por la concentración de contaminantes combinados de otras actividades (urbanas y agrícola-pecuarias), así como por los cambios inducidos en los patrones de marea cuando se construyen obras hidráulicas asociadas.

Algunos cambios en el sistema de manglares se pueden observar en el sistema lagunar La Luna-Algodones (Figura 3.65), al sur de Guaymas. Es posible identificar algunas áreas en donde se estableció infraestructura acuícola, pero en general, los cambios son mínimos y se observa también, varias áreas en donde los manglares lograron establecerse y prosperar.

Algo similar a lo descrito en el párrafo anterior, lo podemos observar en el estero de Agiabampo (Figura 3.66), donde se detectaron afectaciones a zonas de mangle por el establecimiento de infraestructura acuícola. Asociado a esas afectaciones directas, también se observó como algunas áreas de mangle pasaron a la categoría de *Otros humedales*, lo que puede ser un indicio de los efectos de contaminación, sin embargo, también se detectan áreas en donde el manglar pudo colonizar nuevas áreas y prosperar.

Otra característica de esta región es la dispersión y la baja densidad de habitantes en los centros urbanos. La región de la costa sólo agrupa al 13.5% de la población total del estado (Cedes 2008). Por otra parte, el crecimiento de la industria turística en la región se encuentra relativamente estancado, pero existen planes para promover a la región como destino turístico dado su potencial, aprovechando entre otras cosas, sitios de manglar como el estero del Soldado (Fierro 2009), lo que en el futuro podría significar nuevas amenazas a estos ecosistemas, en caso de un manejo inadecuado.

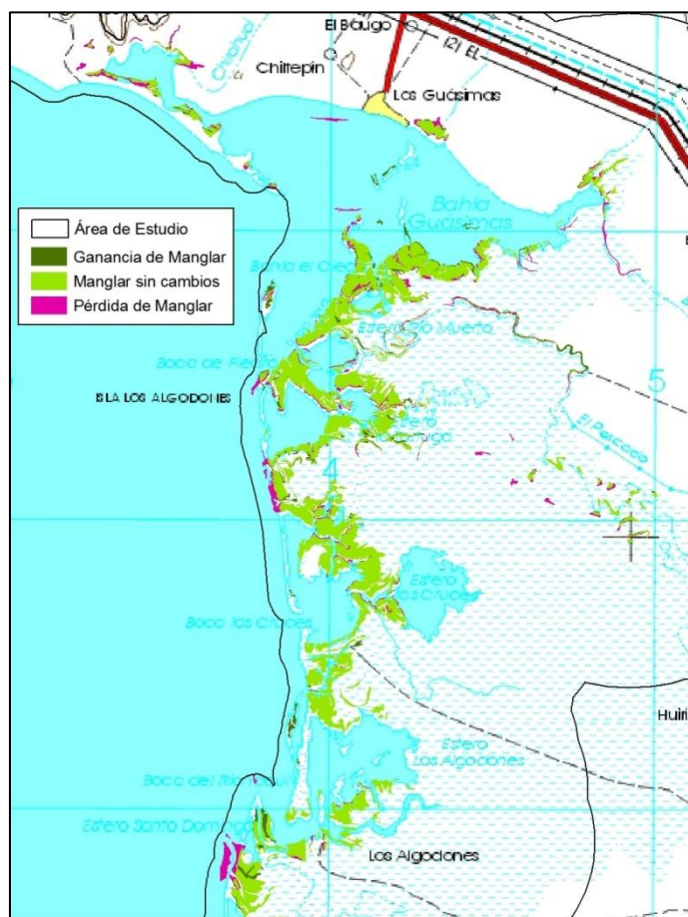


Figura 3.65. Sistema lagunar La Luna-Algodones, Sonora. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1973 - 2005.



Figura 3.66. Estero Agiabampo, Sonora. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1973 - 2005.

Tabla 3.52. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Sonora (1973-2005).

Mapa 1973										
Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005	
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	5,695.1	323.1	4,868.4	359.3	106.8	0.0	19,148.1	249.6	30,750.4
	2.- Agrícola - Pecuaria	433.6	25,066.5	5,035.8	19.8	0.0	0.0	816.5	6.0	31,378.2
	3.- Otra vegetación	618.4	3,136.1	102,021.6	811.8	37.8	0.0	1,054.1	127.5	107,807.3
	4.- Sin vegetación	26.5	6.8	596.7	5,155.0	22.0	0.0	392.6	573.0	6,772.6
	5.- Manglar	2.6	35.4	57.8	33.9	9,998.6	0.0	610.9	358.6	11,097.8
	6.- Manglar perturbado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	7.- Otros humedales	137.6	1,322.8	655.4	1,095.6	407.6	0.0	82,279.3	767.9	86,666.2
	8.- Cuerpos de agua	33.9	4.0	129.3	827.1	367.0	0.0	764.1	94,902.2	97,027.6
Total 1973	6,947.7	29,894.7	113,365.0	8,302.5	10,939.8	0.0	105,065.6	96,984.8	371,500.1	
EL %	81.97	83.85	89.99	62.09	91.40	n.a.	78.31	97.85		
ER %	342.60	4.96	-4.90	-18.43	1.44	n.a.	-17.51	0.04		

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9, la cual podría presentar sobreposición en ambas fechas. Cartografía digital relacionada: SON_CC_ccl.shp y SON_CM_ccl.shp.

Tabla 3.53. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Sonora (1973-2005).

		Mapa 1973								
Clase		1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	1.53	0.09	1.31	0.10	0.03	0.00	5.15	0.07	8.28
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.12	6.75	1.36	0.01	0.00	0.00	0.22	0.00	8.46
	3.- Otra vegetación	0.17	0.84	27.46	0.22	0.01	0.00	0.28	0.03	29.01
	4.- Sin vegetación	0.01	0.00	0.16	1.39	0.01	0.00	0.11	0.15	1.83
	5.- Manglar	0.00	0.01	0.02	0.01	2.69	0.00	0.16	0.10	2.99
	6.- Manglar perturbado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7.- Otros humedales	0.04	0.36	0.18	0.29	0.11	0.00	22.15	0.21	23.34
	8.- Cuerpos de agua	0.01	0.00	0.03	0.22	0.10	0.00	0.21	25.55	26.12
Total 1973		1.88	8.05	30.52	2.24	2.95	0.00	28.28	26.11	100.03

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Patrones e índices espaciales

En la Tabla 3.54 se muestran los resultados del cálculo de los diferentes índices aplicados a la distribución de manglares en el estado de Sonora en el periodo 1973-2005. El área de manglar se incrementó en 158 ha y el número de parches en la Fecha 2 es mayor que en la Fecha 1; para tratarse de un periodo de 32 años los cambios en los patrones espaciales no fueron significativos.

Tabla 3.54. Atributos e índices de la clase manglar en el estado de Sonora.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM (%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	IF	IIC
F1	10,940	649	5.59	16.86	0.00	0.02	0.70	24.19	0.016
F2	11,098	683	4.88	16.25	0.03	0.13	0.72	22.48	0.015

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; NP: Número de Parches; IPM: Índice de Parche Mayor; AP: Área promedio de los parches; IA_L: Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; IA_S: Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; R_c: Dispersión de parches; IF: Índice de fragmentación; IIC: Índice Integral de conectividad.

En negrillas se muestra el valor más alto.

La dominancia del índice de parche mayor fue más alta en 1973 (5.6) que en 2005 (4.9). El resultado obtenidos para este índice en el estado de Sonora es el más bajo de todos los estados analizados. Por lo general se sabe que los paisajes con valores bajos de este índice son menos propensos a apoyar funciones ecológicas importantes relacionadas con las coberturas naturales de manglar. Sin embargo estos ambientes en el estado de Sonora son de suma importancia, ya que sirven de oasis para un gran número de especies de aves migratorias. Esta reducción en el IPM puede deberse a cambios pequeños en el uso forestal, agrícola o el tipo de desarrollo urbano que se da en la región.

El incremento del área total y el incremento del número de parches de manglar fueron acompañados con una reducción no significativa ($p = 0.303$; $Z = 1.029$) en el área promedio de los parches (Tabla 3.54).

Aproximadamente el 74% de los parches estimados en este análisis presentan un tamaño entre 1 a 10 hectáreas en las dos fechas. Aunque 90% de los fragmentos se encuentran fuertemente sesgados a un tamaño menor a 40 hectáreas para la Fecha 1, y de 38 ha para la Fecha 2. En contraste, sólo 25 (Fecha 1) y 27 (Fecha 2) parches fueron determinados con superficies mayores a 100 ha (Figura 3.67). En esta categoría sobresale un parche mayor a 400 ha en la Fecha 1 localizado en Playa Yaquis cerca de la Isla Lobos. Este mismo parche se mantiene para la Fecha 2.

La situación en esta parte del país es muy parecida al resto de los estados de la región del Pacífico Norte, existe un aumento en el valor del Índice de amenaza por longitud de 0.00 a 0.03 que va de la Fecha 1 a la Fecha 2 respectivamente, mientras que el Índice de amenaza por superficies, muestra un aumento en los valores, de un 0.02 a 0.13. Los valores bajos que indican el contacto entre manglar y las clases antrópicas, pudiera servir de parámetro para explicar el incremento en la superficie de manglar en el periodo de análisis. Aunque considerando que el aumento en el IA_S es significativo, se debe monitorear los valores de los índices de esta región en un mediano plazo, ya que pueden presentarse nuevas amenazas para el desarrollo del manglar.

El valor de dispersión de parches (R_c) indica que el manglar para ambas fechas (R_c < 1), presentó una distribución agregada. El índice de fragmentación (IF) presentó un valor menor para la Fecha 2 (22.5) en relación con la Fecha 1 (24.2) lo que indica que la reducción de superficie de manglar va ligada a procesos de fragmentación de esta cobertura.

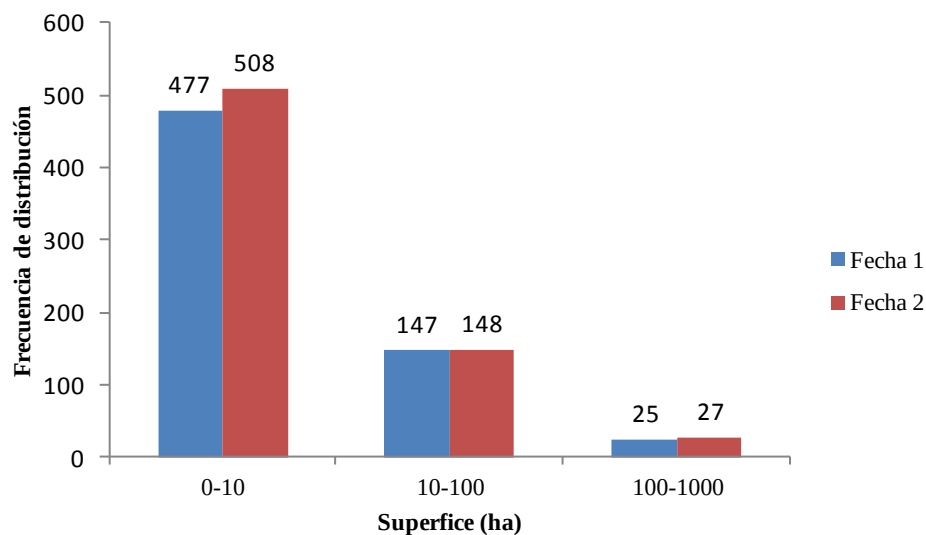


Figura 3.67. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Sonora.

De los 649 parches de manglar observados en la Fecha 1 en el estado de Sonora seis de ellos (en total 1,424 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) *Alto* y *Muy Alto*, mientras que en la Fecha 2, de los 683 parches de manglar presentes en esa fecha, se lograron identificar también seis parches (en total 1,119 ha) con valor de IIC relevante (*Muy alto* y *Alto*) (Figura 3.68 y Mapas 17 y 18 del Anexo 2).

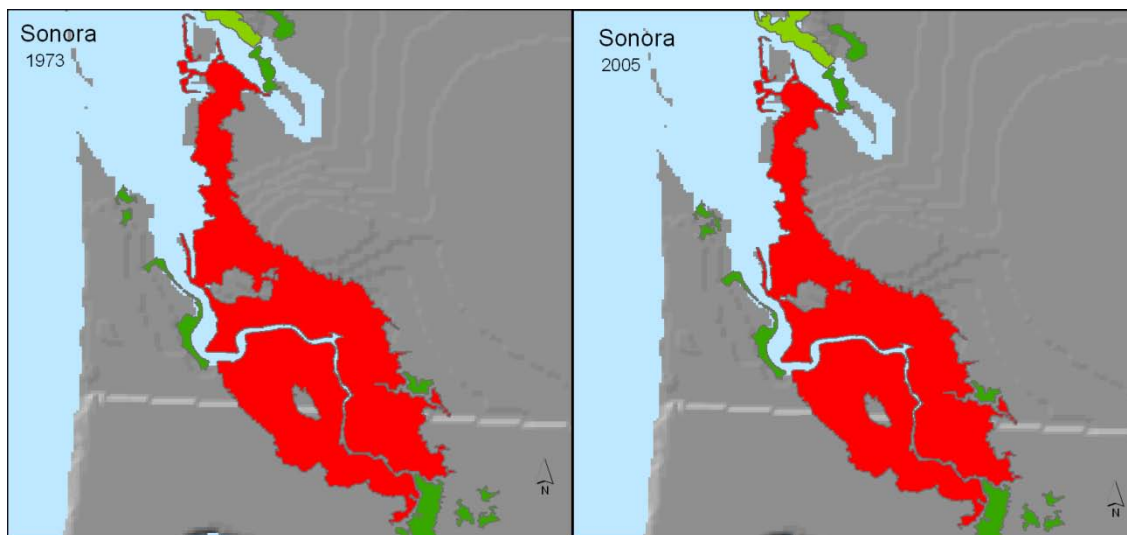


Figura 3.68. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Sonora.

Simbología: Rojo = Muy alto, Naranja = Alto, Amarillo = Medio, Verde claro = Bajo y Verde oscuro = Muy bajo, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua

La superficie del parche con valor más alto de IIC para la Fecha 1 fue de 469 ha, mientras que para la Fecha 2, la superficie del parche con valor más alto de IIC fue de 474 ha y se encuentra ubicado en el estero La Luna (Figura 3.69). En este caso se registró un aumento de cinco ha de la superficie total de manglar del parche con mayor valor de IIC, lo cual indica posibles procesos de colonización de manglar

hacia la parte central del parche. Si bien el parche con mayor valor de IIC incrementó ligeramente, el total de la superficie de manglar con un valor Muy alto o Alto en general disminuyó 305 ha.

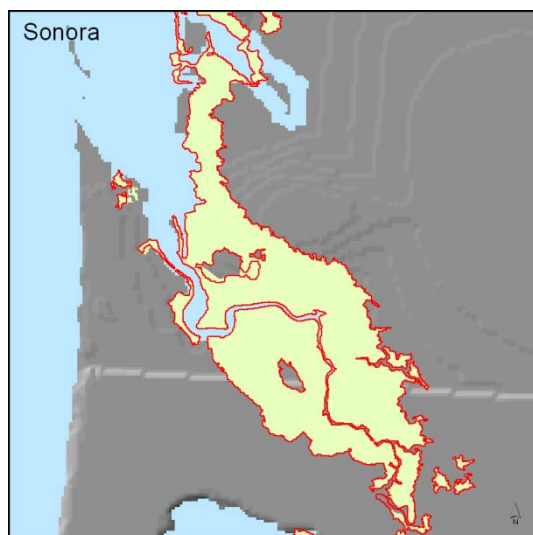


Figura 3.69. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Sonora.

Simbología: Contorno rojo = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1, Verde = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 2, Gris: Porción terrestre, Azul = Agua.

Sinaloa

Validación mapa 2005

Para obtener la validación del estado de Sinaloa se utilizaron 272 puntos de validación utilizando fotografías aéreas de alta resolución, además de 487 puntos obtenidos con los trabajos de campo de otras instituciones (ver sección de materiales y métodos) de los cuales se presenta la evaluación de 596 correspondientes a las 4 clases evaluadas. De estos datos se obtuvo la exactitud global para el mapa de usos del suelo del estado de Sinaloa de 82.72% y un índice Kappa de 0.76 (Tabla 3.55). Sin embargo, al ponderar la validación con la superficie ocupada por cada clase a fin de evitar el sesgo que se obtiene por el tipo de muestreo seleccionado, la exactitud global disminuye al 74.31% (Tabla 3.56) con errores en la clase manglar que no se observaron sin la ponderación, mientras que el índice de Kappa disminuyó a 0.62.

Tabla 3.55. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Sinaloa.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	302	2	0	1	305	0.98
	3.- Otra vegetación	17	25	3	6	51	50.98
	5.- Manglar	1	4	127	29	161	21.12
	7.- Otros humedales	22	11	7	39	79	50.63
	Total	342	42	137	75	596	Exactitud Global %
Error de Omisión %						82.72	
Exactitud Productor %						74.31	
^K						0.76	

Tabla 3.56. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Sinaloa, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	43.15	0.29	0.00	0.14	43.57	0.98
	3.- Otra vegetación	7.09	10.43	1.25	2.50	21.28	50.98
	5.- Manglar	0.07	0.29	9.05	2.07	11.47	21.12
	7.- Otros humedales	6.59	3.30	2.10	11.69	23.67	50.63
	Total	56.90	14.30	12.40	16.40	100	Exactitud Global %
Error de Omisión %						74.31	
Exactitud Productor %						74.31	
^K						0.62	

De manera similar que para el estado de Sonora, el estado de Sinaloa presenta errores de comisión en la clases de *Manglar* (21.12%) y tiene una exactitud del productor de casi 73%, con confusiones en ambos sentidos con *Otros humedales*. En la clase *Otros humedales* hay un error de comisión de casi 51% con un margen de confusión alto con *Otra vegetación*, sin embargo también hay para esta clase un error de omisión del 28.74% adjudicadas a las clases *Manglar* y *Otra vegetación*. Para la clase *Otra vegetación* la exactitud del usuario es considerablemente baja (49.02%), y está confundido principalmente con usos agropecuarios, lo que significa que las áreas *Agropecuarias* fueron consideradas como *Otra vegetación*.

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para 1985 (Fecha 1) y 2005 (Fecha 2) de Sinaloa, estos se presentan en la Figura 3.70 y Tabla 3.57, así como el Anexo 1, Mapas 37 al 40.

Para el estado de Sinaloa, el área de estudio es de 1,016,298 ha, que representa el 11.80% del total nacional. En el año inicial se tienen cuatro clases dominantes, *Agrícola-pecuaria*, *Cuerpos de agua*, *Otros humedales* y *Otra vegetación*. La clase *Manglar* ocupaba un 8% de la superficie total del área de estudio. Para el 2005, se mantiene la misma dominancia de las dos primeras clases, con diferente proporción, la clase *Agrícola-pecuaria* muestra un incremento en superficie, la clase *Manglar* reduce su presencia y *Desarrollo antrópico* presenta un incremento remarcable, al pasar del 1.92% del total del área de estudio en la fecha uno al 6.2% para el año 2005.

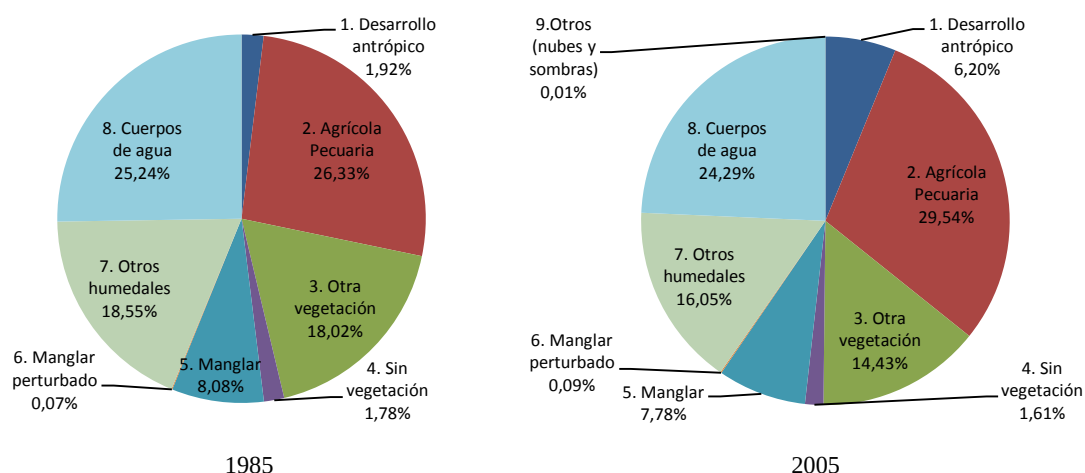


Figura 3.70. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Sinaloa en 1985 y 2005.

Tabla 3.57. Extensión del uso del suelo y vegetación en Sinaloa (1985-2005).

Clase	1985		2005		+/- Netas	r (%)
	ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	19,541.3	1.92	62,966.9	6.20	43,425.6	5.25
2.- Agrícola - Pecuaria	267,638.0	26.33	300,261.6	29.54	32,623.6	0.45
3.- Otra vegetación	183,150.1	18.02	146,624.3	14.43	-36,525.8	-0.69
4.- Sin vegetación	18,073.3	1.78	16,335.0	1.61	-1,738.3	-0.37
5.- Manglar	82,073.9	8.08	79,064.8	7.78	-3,009.1	-0.15
6.- Manglar perturbado	760.2	0.07	954.1	0.09	193.9	0.69
7.- Otros humedales	188,485.5	18.55	163,135.3	16.05	-25,350.2	-0.62
8.- Cuerpos de agua	256,534.4	25.24	246,888.2	24.29	-9,646.2	-0.11
9.-Otros (nubes y sombras)	41.0	0.00	67.5	0.01	n.a.	n.a.
Total	1,016,297.7	99.99	1,016,297.7	100.00		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo de cifras.

En términos de superficie total, se observaron cambios de alguna categoría a otra entre la Fecha 1 y Fecha 2, en 163,574 ha (Tabla 3.58), que representan el 16% del total de la superficie del área de estudio. Por cantidad de superficie involucrada, el paso de 42,713 ha de *Otra vegetación* a *Agrícola-pecuaria* resulta

notable y representa el 26% de los cambios totales de cobertura que se dieron durante el periodo de estudio. También por la cantidad de hectáreas involucradas, el paso de 34,004 ha de *Otros humedales* a *Desarrollo antrópico* (21% del total de los cambios verificados) resalta en la dinámica de cambios.

La tasa de cambio positiva más alta correspondió entonces a la clase *Desarrollo antrópico* (5.25% anual), con valores positivos, le siguieron las clases *Manglar perturbado* con 0.69%, y *Agrícola-pecuaria* con 0.45% de incremento anual (Tabla 3.57).

En la Tabla 3.58 observamos que la tasa de cambio de *Desarrollo antrópico* llevó a que esta clase triplicara su superficie (ER=222.22%), su estabilidad de localización (EL) mostró que sólo el 18.82% de su superficie original se perdió, pasando a la clase *Agrícola-pecuaria* y *Otros humedales*, principalmente. Por otra parte, su expansión durante el periodo de estudio, se verificó principalmente sobre áreas que originalmente correspondían a las clases *Otros humedales* y en menor medida *Otra vegetación* y áreas de la clase *Agrícola-pecuaria*.

Se identificaron en la Fecha 1,760 ha de *Manglar perturbado*, de las cuales permanecieron como tal el 89.4% (EL), al final del periodo, esta clase se incrementó en un 25.51% (ER).

La clase *Agrícola-pecuaria* presentó una estabilidad de localización aun mayor, cediendo un 7% a otras clases durante el periodo de estudio, principalmente a *Otra vegetación* y en menor medida a *Desarrollo antrópico* y *Otros humedales*. Para el año 2005 no sólo recuperó la superficie cedida sino que creció en área en un 12.19%, a costa de las clases *Otra vegetación* y en mucho menor medida *Otros humedales*.

Como se mostró en la Tabla 3.57, el resto de las clases presenta tasas de cambio negativas, la más baja y de mayor ritmo de pérdidas corresponde a *Otra vegetación* (-0.69%), seguida de *Otros humedales* (-0.62%), *Sin vegetación* (-0.37%), *Manglar* (-0.15%) y *Cuerpos de agua* (-0.11%).

La clase *Otra vegetación* como ya se había mencionado, mostró la dinámica de cambio más destacada al ceder 23% de su superficie original a la clase *Agrícola-pecuaria*, al mismo tiempo, durante el periodo de estudio, 12,766 ha que representan el 5% de la superficie original de la clase *Agrícola-pecuaria*, pasaron a esa categoría, lo que indica una gran actividad en la apertura de áreas y agrícolas en terrenos de esta clase y el abandono de otras que pasan a su vez a *Otra vegetación*. La estabilidad de localización (EL) para esta clase fue la más baja (69.28%) y las áreas que recuperó no fueron suficientes para revertir la tendencia de pérdidas, por lo que al final mostró una disminución en su distribución de 19.93% (ER=-19.93%).

Al igual que el caso anterior, la clase *Otros Humedales* fue sujeta a una activa dinámica de cambios, esto se refleja al tener el segundo valor de EL y de ER más bajos (71.95% y -13.45% respectivamente). El 18% de la superficie de esta clase en la Fecha 1, paso a ser en 2005 parte de la clase *Desarrollo antrópico*, en menor medida también cedió superficie a las clases *Agrícola-pecuaria* y *Otra vegetación*. Respecto a las ganancias de la clase *Otros humedales*, recuperó terreno en áreas correspondientes a las clases *Cuerpos de agua*, *Otra vegetación* y *Manglares*, principalmente, que no obstante no fueron suficientes para revertir su tendencia a disminuir su presencia.

La clase *Sin vegetación* también dentro de este grupo de tendencia decreciente, cedió superficie a las clases *Cuerpos de Agua* y *Otra vegetación*, principalmente, mostrando durante el periodo de estudio una EL moderada con 74.47%. Recuperó presencia para el 2005 a costa de la clase *Cuerpos de agua* y *Otra vegetación* básicamente, pero no lo suficiente para revertir sus pérdidas, disminuyendo de forma neta para el año 2005 en un 9.62% respecto a su área original (ER=-9.62%).

Las clases *Cuerpos de agua* y *Manglar* mostraron tasas de cambio negativas similares. *Cuerpos de agua* mostró una activa dinámica de cambios con respecto a la clase *Otros humedales*, cediéndole en total 7,974 ha al final del periodo de estudio. En menor medida también presenta un intercambio con la clase *Otra vegetación*, obteniendo una ganancia final de esta clase de 700 ha. No obstante estos cambios, la gran

superficie que representa esta clase en la zona de estudio, se refleja con una alta EL (93.45%), si bien la estabilidad de residencia (ER), deja ver que al final ha reducido su presencia en 3.76% con respecto a su distribución inicial.

La clase *Manglar* tuvo una disminución durante el periodo de estudio de 3,009 ha, que representan una pérdida neta de 3.67% de la superficie encontrada en la Fecha 1 (ER=-3.67). La estabilidad de localización (EL) presentó un valor relativamente alto (90.01%) lo que indica que se perdió un 9.09% de la superficie original, estas zonas pasaron a la clase *Otros humedales* (64% de las pérdidas totales de manglar), *Cuerpos de agua* (12% de las pérdidas de manglar) y *Desarrollo antrópico* (11% de las pérdidas de manglar), principalmente (Figura 3.71).

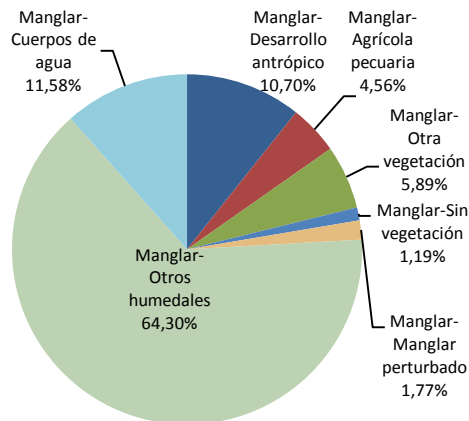


Figura 3.71. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Sinaloa durante el periodo 1985 – 2005.

Las pérdidas se vieron compensadas con el establecimiento de nuevas áreas de manglar en terrenos de la clase *Otros humedales* y *Cuerpos de agua*, que no obstante no fueron suficientes para revertir las pérdidas verificadas de esta clase.

El panorama general mostrado por el análisis de los cambios en Sinaloa para la Fecha 1 y el año 2005, sugieren el incremento en la densidad de población de la región, proceso que ya han verificado otros estudios (Aburto-Oropeza *et al.* 2008). El destacable incremento en las áreas identificadas como *Desarrollo antrópico* confirma esta tendencia. El estado de Sinaloa en general, ha basado su desarrollo económico en la explotación comercial de sus recursos naturales con un enfoque cargado a la exportación (Cruz-Torres 2000). Las condiciones topográficas de la costa de Sinaloa favorecen el establecimiento de las actividades agrícolas y pecuarias (INEGI 2011b) y esto se refleja en el activo intercambio en las clases *Agrícola-pecuaria* y *Otra vegetación* mencionada anteriormente, lo que lleva a que para estas dos clases se verifique la probabilidad de cambio más alta (4.2%, Tabla 3.58).

Sinaloa es actualmente el estado con mayor superficie de manglares en la costa del Pacífico (CONABIO 2009b), estudios previos en la región noroeste del país, habían encontrado que las comunidades de mangle en este estado habían sido las más estables y con las mejores condiciones de conservación (Ruiz-Luna *et al.* 2010), identificando cambios mínimos en la cobertura y, de forma general, un ligero incremento en la superficie de distribución (4%), lo que difiere de lo hallado en este estudio, en donde más bien se verifica un ligero decremento (3.67%) en el área de distribución. La causa de estas diferencias pueden radicar en los métodos empleados y en la resolución de las fuentes de datos.

Los efectos en las áreas de distribución de manglar se verifican tanto de forma directa como indirecta. En la región de estudio, los árboles de mangle tradicionalmente han sido aprovechados por la población rural como combustible y para la extracción de taninos, así como construcción. También se sabe que algunas de

las áreas de mangle abiertas, son utilizadas posteriormente para actividades agrícolas y ganaderas (Cruz-Torres 2000). Algo de la combinación de estos efectos pueden observarse en el sistema lagunar Altata-Pabellón (Figura 3.72).



Figura 3.72. Sistema lagunar Altata-Pabellón, Sinaloa. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1985 - 2005.

De forma indirecta, la contaminación producida por las actividades agrícola-ganaderas resulta ser un factor importante que afecta a las comunidades de manglar. En un informe de SAGARPA sobre el estado de los ecosistemas lagunares costeros (SAGARPA 2004), para Sinaloa, los 11 sistemas lagunares reportados presentaban algún grado de problemas por contaminación relacionada con las actividades urbanas y agrícola-ganaderas. Lo que de acuerdo con otros estudios, puede ser tan dañino a estos ecosistemas como la intervención directa (Kennish 2001). Lo cual podría explicar que la mayor parte de los cambios de la clase *Manglar* se hayan realizado hacia la categoría de *Otros humedales*.

Mención aparte merecen las actividades de la industria camarónícola en la región, que experimentaron un vigoroso incremento a partir de la década de 1990 con las adecuaciones al artículo 27 (DeWalt *et al.* 2002), lo que permitió la entrada de capital privado. Esta región fue pionera en muchas de las técnicas de cultivo de camarón y no es extraño que por ello, en la región del Golfo de California, que es donde se encuentra nuestra área de estudio, se concentre el 94% de las granjas camarónícolas del país y el 95% de la producción total. Para 1998 Sinaloa ocupaba el primer lugar en superficie dedicada a esta actividad (DeWalt *et al.* 2002) y es posible observar algunas áreas de mangle que pasaron a ser parte de instalaciones (Figura 3.73). Estudios más recientes, muestran que Sinaloa sigue ocupando el primer lugar con una superficie dedicada a esta actividad de 34,652 ha (Ponce-Palafox *et al.* 2011).

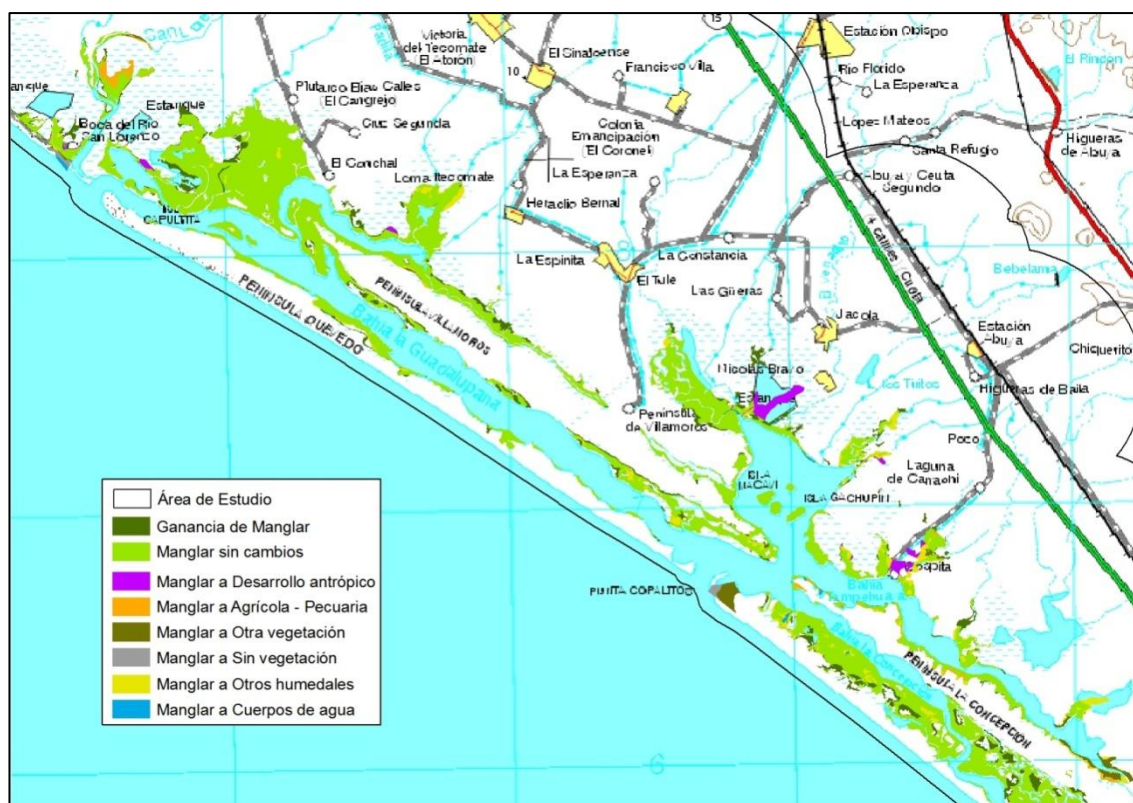


Figura 3.73. Bahía Guadalupe, Sinaloa. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1985 - 2005.

En otras partes del mundo, este tipo de instalaciones se establecen directamente sobre áreas de manglar, siendo una de los principales factores en su desaparición, pero en esta región suelen establecerse en las vecindades (Glenn *et al.* 2006), sin afectar necesariamente de forma directa a los manglares. Recientes estudios muestran que un 3% de la infraestructura camaronícola, se ha establecido directamente sobre áreas de manglar (Berlanga-Robles *et al.* 2011), no obstante, las aguas de desecho de estas instalaciones contienen una gran cantidad de sustancias que favorecen los procesos de eutrofización, además que la construcción de canales y obras hidráulicas, que normalmente deben realizarse para controlar el agua, pueden afectar también el balance hídrico local y perjudicar indirectamente las condiciones en las cuales se desarrolla el manglar, sin embargo, en este tema aún existe una abierta polémica (Cruz-Torres 2000).

Otra de las amenazas al ecosistema de manglar puede venir de los efectos del sector turístico, de acuerdo con algunos investigadores, hacia el 2007 la inversión privada para este sector se concentró entre otros estados en Sinaloa y ya es posible observar efectos adversos para los manglares en sitios como Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales, entre los estados de Sinaloa y Nayarit (Flores *et al.* 2010), lo que hará necesario poner particular atención a los mecanismos de evaluación de impacto ambiental previstos por el marco legal actual, para evitar que aumente la presión hacia la disminución de este ecosistema.

Tabla 3.58. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Sinaloa (1985-2005).

Mapa 1985										
Clase		1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	15,863.2	4,574.7	5,706.0	167.7	877.3	0.0	34,003.6	1,774.4	62,966.9
	2.- Agrícola - Pecuaria	1,959.6	246,583.6	42,713.4	93.1	374.4	0.3	7,550.7	986.5	300,261.6
	3.- Otra vegetación	328.5	12,766.2	126,873.0	1,287.5	483.1	0.0	4,359.2	526.8	146,624.3
	4.- Sin vegetación	6.2	46.8	941.5	13,458.5	97.9	0.0	294.4	1,489.7	16,335.0
	5.- Manglar	47.2	272.9	365.0	30.6	73,872.0	38.1	3,463.0	976.0	79,064.8
	6.- Manglar perturbado	0.0	0.4	0.8	0.0	145.3	679.6	124.5	3.5	954.1
	7.- Otros humedales	1,243.4	3,072.4	6,017.9	846.0	5,274.1	17.3	135,619.6	11,044.6	163,135.3
	8.- Cuerpos de agua	93.2	320.9	506.1	2,189.9	949.8	24.9	3,070.5	239,732.9	246,888.2
Total 1985		19,541.3	267,637.9	183,123.7	18,073.3	82,073.9	760.2	188,485.5	256,534.4	1,016,230.2
EL %		81.18	92.13	69.28	74.47	90.01	89.40	71.95	93.45	
ER %		222.22	12.19	-19.93	-9.62	-3.67	25.51	-13.45	-3.76	

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9, la cual podría presentar sobreposición en ambas fechas. Cartografía digital relacionada: SIN_CC_ccl.shp y SIN_CM_ccl.shp.

Tabla 3.59. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Sinaloa (1985-2005).

Mapa 1985										
Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005	
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	1.6	0.5	0.6	0.0	0.1	0.0	3.4	0.2	6.20
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.2	24.3	4.2	0.0	0.0	0.0	0.7	0.1	29.54
	3.- Otra vegetación	0.0	1.3	12.5	0.1	0.1	0.0	0.4	0.1	14.43
	4.- Sin vegetación	0.0	0.0	0.1	1.3	0.0	0.0	0.0	0.2	1.60
	5.- Manglar	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	0.0	0.3	0.1	7.78
	6.- Manglar perturbado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.09
	7.- Otros humedales	0.1	0.3	0.6	0.1	0.5	0.0	13.4	1.1	16.05
	8.- Cuerpos de agua	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.3	23.6	24.29
Total 1985	1.910	26.330	18.010	1.780	8.080	0.070	18.550	25.250	99.98	

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Patrones e índices espaciales

En este análisis de patrones e índices espaciales (Tabla 3.60) el área de manglar disminuyó en 3,009 ha en el periodo 1985-2005 y el número de parches en la Fecha 2 es mayor que en la Fecha 1; este patrón sigue lo esperado en términos generales, ya que se asume que a mayor fragmentación existirá un mayor número de parches. La disminución del área total de manglar debido al cambio de cobertura a otros humedales y el desarrollo antrópico relacionado a granjas camaronícolas en el estado de Sinaloa ayudó a que el número de parches aumentara a partir de la disgregación de los parches más grandes.

Tabla 3.60. Atributos e índices de la clase manglar en el estado de Sinaloa.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM (%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	IF	IIC
F1	82,074	1,555	10.21	52.78	0.04	0.21	0.73	72.41	0.0057
F2	79,065	1,937	9.49	40.82	0.07	0.28	0.83	49.33	0.0053

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; NP: Número de Parches; IPM: Índice de Parche Mayor; AP: Área promedio de los parches; IA_L: Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; IA_S: Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; R_c: Dispersión de parches; IF: Índice de fragmentación; IIC: Índice Integral de conectividad.

En negrillas se muestra el valor más alto.

El valor más alto obtenido para el índice de parche mayor se encuentra en la Fecha 1 con 10.2 contra 9.5 para la Fecha 2. Como se mencionó anteriormente estos paisajes cuyo valor va disminuyendo van perdiendo la capacidad de apoyar funciones ecológicas importantes relacionadas con las coberturas naturales de manglar. Esta reducción en el IPM puede deberse incluso a cambios pequeños en el uso agrícola, acuícola o el tipo de desarrollo urbano que se da en la región.

La disminución del área total y el incremento del número de parches de manglar fueron acompañados con la reducción del área promedio de los parches (Tabla 3.60). El valor de diferencia para el AP entre las dos fechas fue de 11.9 ha y esta diferencia es estadísticamente significativa ($p = 0.000$; $Z = 4.821$).

Aproximadamente el 72% de los parches estimados en este análisis presentan un tamaño entre 1 a 10 hectáreas en las dos fechas. Aunque 90% de los fragmentos se encuentran fuertemente sesgados a un tamaño menor a 52 hectáreas para la Fecha 1, y de 41 ha para la Fecha 2. En contraste, sólo 91 (Fecha 1) y 92 (Fecha 2) parches fueron determinados con superficies mayores a 100 ha (Figura 3.74). En esta categoría sobresale un parche mayor a 6,400 ha en la Fecha 1 localizado en la laguna de Agua Grande, Escuinapa. Este mismo parche disminuye para la Fecha 2 a 5,400 ha aproximadamente debido a la fragmentación del mismo por la construcción de un canal para el control de niveles de agua.

Para esta zona, el Índice de amenaza por longitud muestra un incremento de 0.04 a 0.07 de Fecha 1 a Fecha 2, por su parte el Índice de amenaza por superficies aumentó en casi 0.07 en el mismo periodo de tiempo. La pérdida de superficie de manglar en este periodo de tiempo ha sido de 3,009 ha, ocasionado por la fragmentación del ecosistema y el aumento de las clases antrópicas adyacentes, en particular el aumento de las áreas agrícolas. Si las políticas de cambio de uso de suelo no se modifican, la dinámica de las pérdidas en la superficie de manglar continuará con las mismas tendencias, reflejándose en los valores de estos índices en los próximos años.

El valor de dispersión de parches (R_c), indica que los parches de manglar para ambas fechas (R_c < 1), presentaron una distribución agregada en el área de estudio. En el índice de fragmentación (IF) el menor valor obtenido en la Fecha 2 (49.3) en relación con la Fecha 1 (72.4) nos indica que la reducción de superficie de manglar va ligada a procesos de fragmentación de esta cobertura por actividades antrópicas.

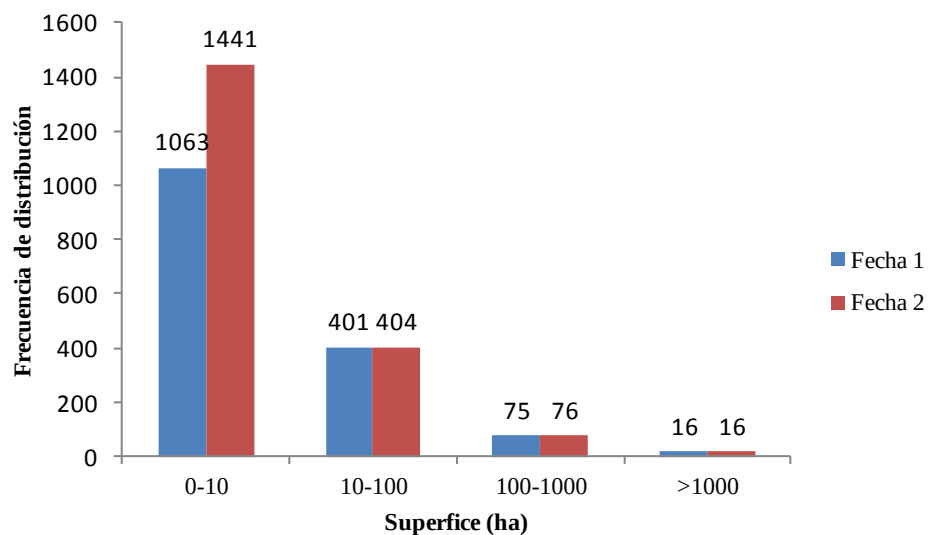


Figura 3.74. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Sinaloa.

De los 1,555 parches de manglar observados en la Fecha 1 en el estado de Sinaloa, seis de ellos (en total 27,825 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) *Alto* y *Muy Alto*, mientras que en la Fecha 2, de los 1,937 parches de manglar presentes en esa fecha, se lograron identificar ocho parches (en total 25,526 ha) con valor de IIC relevante (*Muy alto* y *Alto*) (Figura 3.75 y Mapas 19 y 20 del Anexo 2).

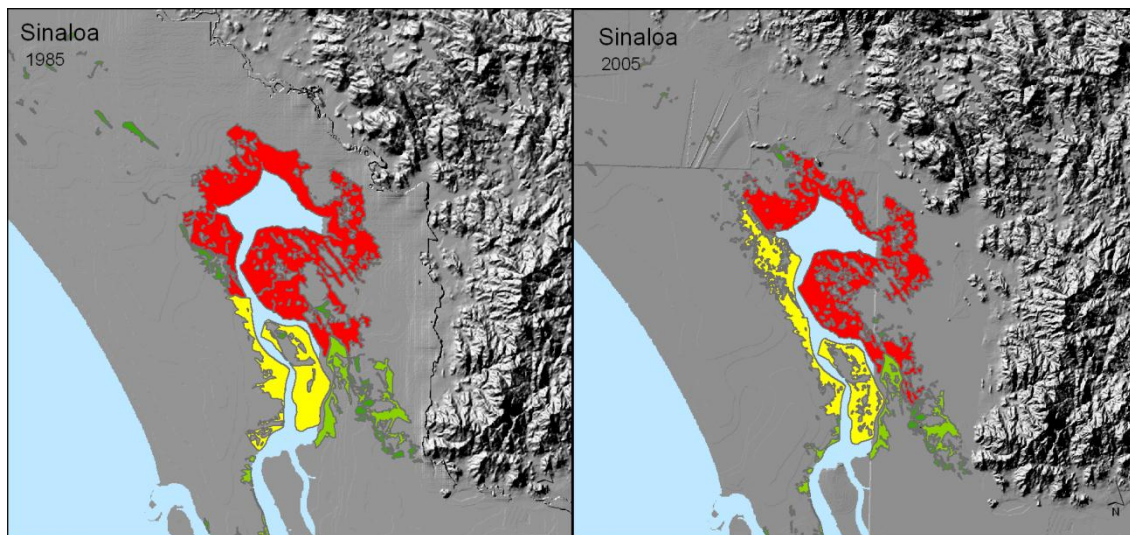


Figura 3.75. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis, en el estado de Sinaloa.

Simbología: Rojo = Muy alto, Naranja = Alto, Amarillo = Medio, Verde claro = Bajo y Verde oscuro = Muy bajo, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua

La superficie del parche con valor más alto de IIC para la Fecha 1 fue de 6,453 ha, mientras que para la Fecha 2, la superficie del parche con valor más alto de IIC fue de 5,402 ha y se encuentra ubicado bordeando la Laguna Agua Grande. (Figura 3.76). En este caso se registró una disminución de 1,051 ha de la superficie total de manglar del parche con mayor valor de IIC, que se convirtieron principalmente a otros humedales, por lo que sería recomendable analizar en el corto plazo los orígenes de esta conversión,

para evitar mayores modificaciones al parche. Aunado a esto, el total de la superficie de manglar con un valor Muy alto o Alto de IIC en general disminuyó 2,299 ha.

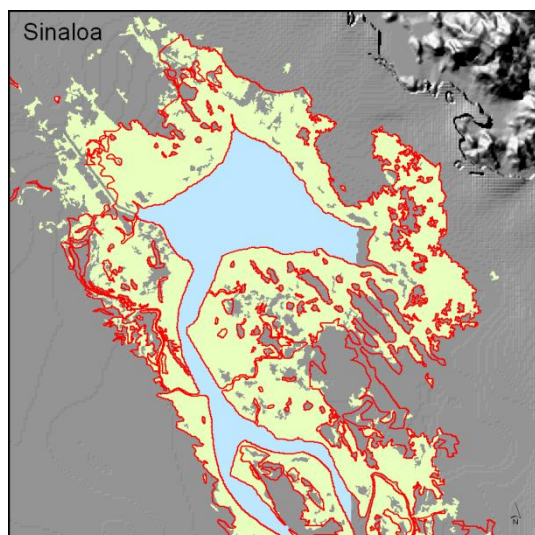


Figura 3.76. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Sinaloa.

Simbología: Contorno rojo = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1, Verde = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 2, Gris: Porción terrestre, Azul = Agua.

Nayarit

Validación mapa 2005

Se utilizaron 458 puntos de validación en total, de los cuales 230 son fotografías aéreas de alta resolución obtenidas por CONABIO y 228 son puntos de campo obtenidos por otras instituciones (ver sección de materiales y métodos) de los cuales se presenta la evaluación de 335 correspondientes a las cuatro clases evaluadas. Con esos datos se obtuvo que la validación del mapa de uso del suelo y vegetación para Nayarit tiene una exactitud global del 81.49% y un índice de Kappa de 0.76 (Tabla 3.61) contra una precisión global ponderada por áreas del 79.93% con un índice de Kappa de 0.71 (Tabla 3.62).

Tabla 3.61. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Nayarit.

		Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
		2.- Agrícola- Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	101	7	4	8	120	15.83	84.17
	3.- Otra vegetación	10	28	6	5	49	42.86	57.14
	5.- Manglar	1	3	124	9	137	9.49	90.51
	7.- Otros humedales	1	7	1	20	29	31.03	68.97
	Total	113	45	135	42	335	Exactitud Global %	
Error de Omisión %		10.62	37.78	8.15	52.38	81.49		
Exactitud Productor %		89.38	62.22	91.85	47.62			
^K		0.76						

Tabla 3.62. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Nayarit, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

		Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
		2.- Agrícola- Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	38.90	2.70	1.54	3.08	46.22	15.83	84.17
	3.- Otra vegetación	2.85	7.99	1.71	1.43	13.98	42.86	57.14
	5.- Manglar	0.19	0.57	23.47	1.70	25.93	9.49	90.51
	7.- Otros humedales	0.48	3.35	0.48	9.56	13.87	31.03	68.97
	Total	42.42	14.61	27.20	15.77	100	Exactitud Global %	
Error de Omisión %		8.30	45.27	13.72	39.38	79.93		
Exactitud Productor %		91.70	54.73	86.28	60.62			
^K		0.71						

Al analizar la matriz de confusión ponderada por áreas (Tabla 3.62) se observa que las clases *Otra vegetación* y *Otros humedales* presentan errores de omisión altos. En el caso de la clase *Otra vegetación*, el mayor porcentaje está asignado a la clase *Agrícola-pecuaria*; sin embargo al analizar los datos directamente contra las imágenes usadas de clasificación, un gran porcentaje de estos errores (~80%) se deben a que los puntos utilizados de fuentes como las de COLPOS o CONABIO que se consideran demasiado antiguas, por lo que ya no coinciden con la cobertura actual. En este caso se deben usar con reserva los datos de la evaluación de exactitud para esas clases. La clase *Otros humedales* se confunde en las imágenes con coberturas *Agrícola-pecuaria* y *Manglar*.

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para 1970 (Fecha 1) y 2005 (Fecha 2) de Nayarit, estos se presentan en la Figura 3.77 y Tabla 3.63, así como el Anexo 1, Mapas 41 a 44.

Para el estado de Nayarit, el área de estudio es de 358,537 ha, que representa el 4.16% del total nacional. Este estado tenía en la fecha inicial, una dominancia de 3 clases de distribución de superficie: *Agrícola-pecuaria*, *Manglares* y *Cuerpos de agua* ocupaban en conjunto casi el 70% de la superficie total. Para la Fecha 2, las mismas tres clases siguen siendo dominantes, ahora con el 73% de la superficie total, debido a la expansión de la clase *Agrícola-pecuaria*, si bien *Manglares* y *Cuerpos de agua* disminuyen ligeramente sus áreas de distribución.

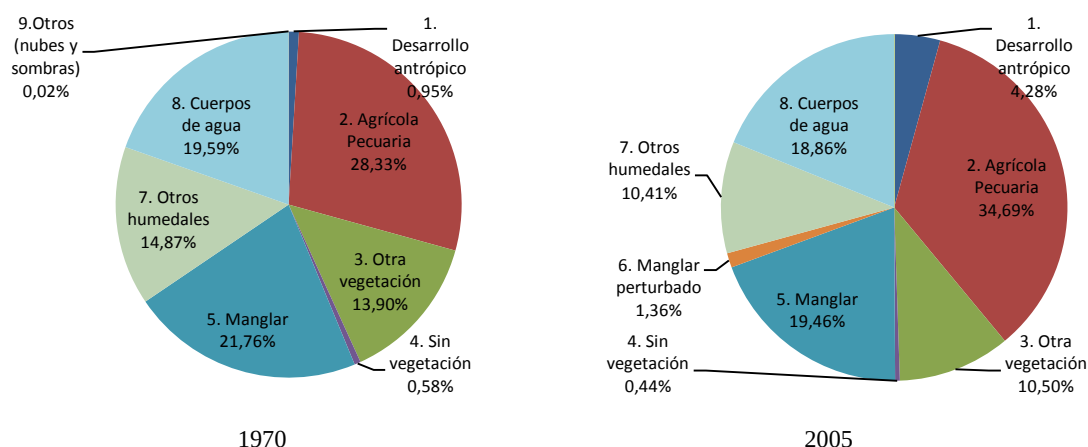


Figura 3.77. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Nayarit en 1970 y 2005.

Tabla 3.63. Extensión del uso del suelo y vegetación en Nayarit (1970-2005).

Clase	1970		2005		+/- Netas	r (%)
	ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	3,417.6	0.95	15,359.0	4.28	11,941.4	4.53
2.- Agrícola - Pecuaria	101,576.1	28.33	124,389.9	34.69	22,813.8	0.59
3.- Otra vegetación	49,822.2	13.90	37,641.9	10.50	-12,180.3	-0.81
4.- Sin vegetación	2,094.7	0.58	1,569.5	0.44	-525.2	-0.82
5.- Manglar	78,023.9	21.76	69,783.5	19.46	-8,240.4	-0.30
6.- Manglar perturbado	0.0	0.00	4,862.1	1.36	4,862.1	n.a
7.- Otros humedales	53,311.4	14.87	37,309.1	10.41	-16,002.3	-0.86
8.- Cuerpos de agua	70,228.0	19.59	67,620.1	18.86	-2,607.9	-0.11
9.-Otros (nubes y sombras)	63.1	0.02	1.9	0.00	n.a.	n.a
Total	358,537.0	100.00	358,537.0	100.00		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo de cifras.

Por cantidad de superficie involucrada, resultan destacables los incrementos en las superficies de las clases *Agrícola-pecuaria* y *Desarrollo antrópico* (ver Tabla 3.63), que además son las únicas que presentaron una tendencia de incremento de superficie entre todas las clases. En términos relativos a la superficie en cada clase, *Desarrollo antrópico* presentó la tasa de transformación positiva más grande (4.53% de incremento anual), lo que valió para que pasara de un 1% de la superficie total en la Fecha 1 al 4% en la Fecha 2. Para la clase *Agrícola pecuaria*, el aumento en la superficie se tradujo en una tasa de

transformación positiva de 0.59% anual, aun así, esto significó pasar del 28% del área total, en la Fecha 1, al 35% en la Fecha 2.

La clase con la mayor cantidad de superficie global perdida fue *Otros humedales*, que también presentó la tasa de transformación más negativa con un -0.86% anual, seguida de *Sin vegetación* (-0.82% anual), *Otra vegetación* (-0.81% anual), *Manglar* (-0.30% anual) y *Cuerpos de agua* (-0.11% anual).

En total, se identificaron 86,098 ha que cambiaron de una clase a otra durante el periodo de estudio, esto es un 24% de la superficie total de la región (ver Tabla 3.64). De estas áreas, destaca por la cantidad de superficie involucrada, los intercambios entre las clases *Otra vegetación* y *Agrícola pecuaria*. La clase *Otra vegetación*, cedió casi un 39% de su superficie en la Fecha 1 a la clase *Agrícola-pecuaria*, mientras que cerca del 7% de la superficie en la Fecha de 1 de esta clase pasó a *Otra vegetación*. También se destaca el cambio de un 19% de la superficie en la Fecha 1, de la clase *Otros humedales* a la clase *Agrícola-pecuaria*.

La clase *Desarrollo antrópico*, con la mayor tasa de transformación anual positiva, multiplicó casi por 4.5 su superficie original en la Fecha 1 con respecto de 2005, a costa, principalmente, de áreas correspondientes a la clase *Otros humedales* y en menor medida a áreas de las clases *Agrícola pecuaria* y *Otra vegetación*. Lo anterior se refleja en el valor de estabilidad de residencia más alto (ER=349%), mientras que su estabilidad de localización, resultó ser también la más alta (EL=93%), esto significa que además, conservó la mayor parte de sus ubicaciones originales, cediendo sólo algunas superficies a la clase *Agrícola-pecuaria*, principalmente.

Otra clase que presentó una expansión en su superficie de distribución en el área de estudio, la clase *Agrícola-pecuaria*, exhibe una EL alta (89%), el 11% de superficie original cedida fue principalmente hacia la clase *Otra vegetación* y en menor medida a *Desarrollo antrópico*. Su ER, también positiva, fue de 22%, es decir, compensó las pérdidas y se extendió a costa, como se mencionó, de la clase *Otra vegetación* y de la clase *Otros humedales*, entre ambas, casi 30 mil ha incorporadas a esta clase.

De las clases que perdieron terreno en su distribución, destaca *Otros humedales*, su EL de 50% indica que la mitad de los sitios originales de distribución se perdieron, su ER de -30%, indica que se extendió en otras áreas, pero no al ritmo para compensar las pérdidas. La expansión de la clase *Agrícola-pecuaria* fue la primera causa de afectación, también *Desarrollo antrópico* y en menor medida la clase *Manglar*, que colonizó 5,143 ha pertenecientes a esta clase, esto es casi un 10% de la superficie original. Por otra parte, las áreas de recuperación de esta clase fueron a costa de *Manglares*, principalmente, y en menor medida de la clase *Cuerpos de agua* y *Otra vegetación*.

La clase con más movimientos relativos a su superficie fue la clase *Sin vegetación*, con una EL estimada de sólo 32%. La mayor parte de las áreas originales pasaron a ser *Cuerpos de agua*, *Otra vegetación* y aéreas de la clase *Agrícola-pecuaria*. Su ER, la tercera más baja (-25%) indica que otras clases pasaron a esta categoría, principalmente de la clase *Cuerpos de agua* y en mucho menor medida *Otros humedales* y *Manglares*.

La clase *Manglar* perdió el 11% de su distribución original en la Fecha 1, siendo sustituido por *Otros humedales*, *Manglar perturbado* y por la clase *Agrícola-pecuaria*, principalmente, entre todos estos cambios acumulan el 74% (de ese 11%) de las pérdidas de esta clase durante el periodo de estudio (Figura 3.78). Aunque el manglar, colonizó áreas que originalmente eran *Otros humedales* y *Cuerpos de agua*, principalmente, lo que reduce las pérdidas netas de esta clase, no llega al punto de revertir la tendencia a la baja, por lo que se refleja en el casi -11% estimado en su valor de ER.

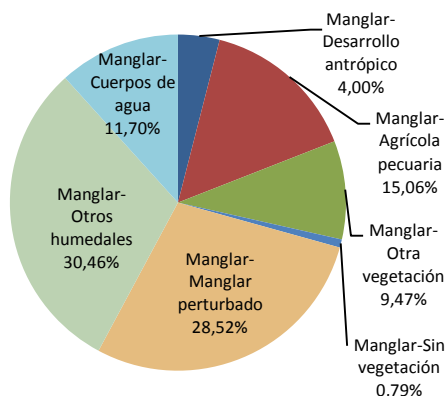


Figura 3.78. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Nayarit durante el periodo 1970 – 2005.

Resumiendo los cambios descritos, Nayarit ha experimentado un destacado desarrollo en infraestructura, a la vez que una expansión notable en las actividades agropecuarias, esto último se refleja en el valor más alto de probabilidad de cambio (5.39) en la Tabla 3.65, lo cual ha afectado sobre todo a zonas de *Otros humedales* y *Otra vegetación*, resultando relativamente menos afectadas las zonas de *Manglar*, aunque aun así, fue puesta en evidencia una reducción neta del orden de las 8 mil ha en la distribución de esta clase.

Nayarit destaca como uno de los estados con mayor superficie de manglar a nivel nacional. En la década de 1990, aparecía como el primer lugar en la producción de madera de mangle (Valdez 2004). En esta región se encuentra el complejo más grande de manglar en el Pacífico oriental, Teacapán-Agua Brava, al norte del estado y al sur de Sinaloa, que en conjunto conforman el complejo denominado Marismas Nacionales (Berlanga-Robles y Ruiz-Luna 2006). Estudios previos ya han puesto en evidencia la presión a la que se ve sometido este ecosistema (Berlanga-Robles *et al.* 2010), encontrando, con el empleo de metodologías distintas a las propuestas en este trabajo, una reducción de la década de 1970 al 2005 de 14% en la superficie de distribución de este ecosistema (Ruiz-Luna *et al.* 2010).

Lo anterior puede constatare con el ejemplo de la expansión del área urbana de San Blas (Figura 3.79), que en algún momento durante el periodo de estudio, afectó directamente a algunas áreas de este ecosistema, mientras que en la cercanía del puerto es posible observar amplias afectaciones. En esta zona se identificaron áreas de manglar que pasaron a la clase *Manglar perturbado*, otras más que se inundaron y que al perder cobertura pasaron a la categoría de *Otros humedales*. Esta parte del área de estudio experimentó un crecimiento acelerado entre las décadas de 1970 y 1980, cuando la población pasó de 32,431 a 41,805 habitantes, aunque a partir de allí, a la fecha, se presenta un decrecimiento de la población marcado. Al 2005 se registran 37,478 (INAFED 2010a).

Al igual que el resto de los estados del Pacífico norte, la camaronicultura ha jugado un papel muy importante en la transformación del paisaje en el área de estudio. Después del estado de Sinaloa, Nayarit concentra la mayor cantidad de granjas (Dewalt *et al.* 2002), como se ha señalado también por otras investigaciones, en el noroeste de México las granjas suelen afectar pocas veces de forma directa a las comunidades de manglar, sin embargo, las aguas residuales, y los cambios en los patrones hidrológicos y patrones de mareas, suelen terminar causando daños a estas comunidades (Cruz-Torres 2000). Probables afectaciones en este sentido se observan en la parte norte del estado, en el límite con el estado de Sinaloa (Figura 3.80).

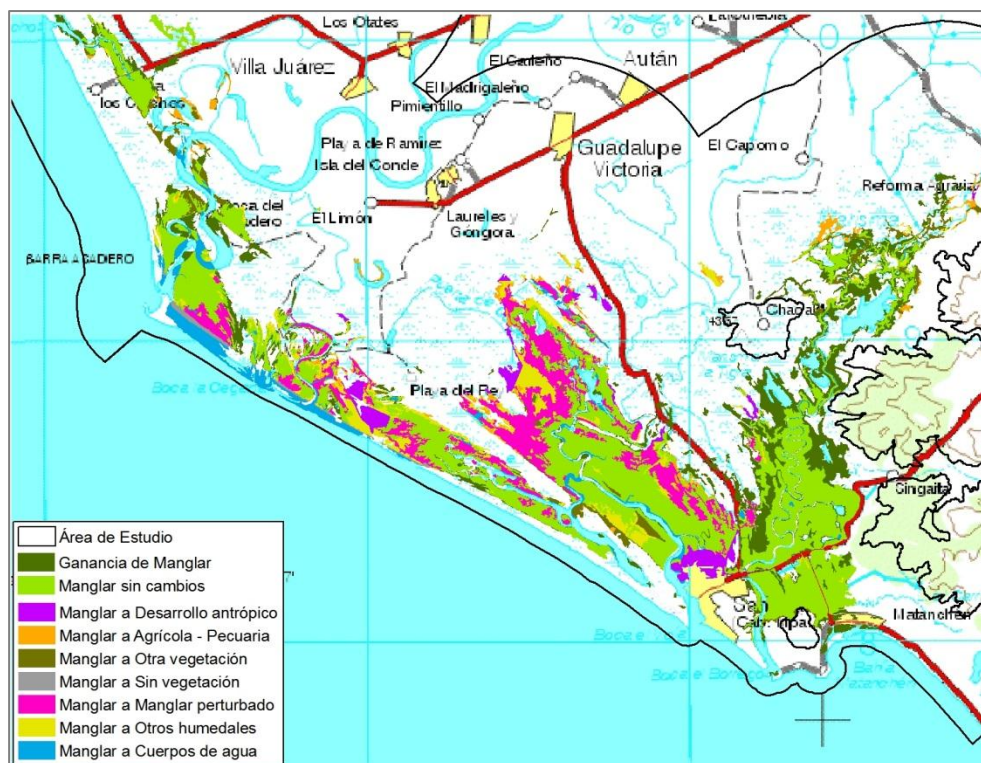


Figura 3.79. San Blas, Nayarit. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1970 - 2005.

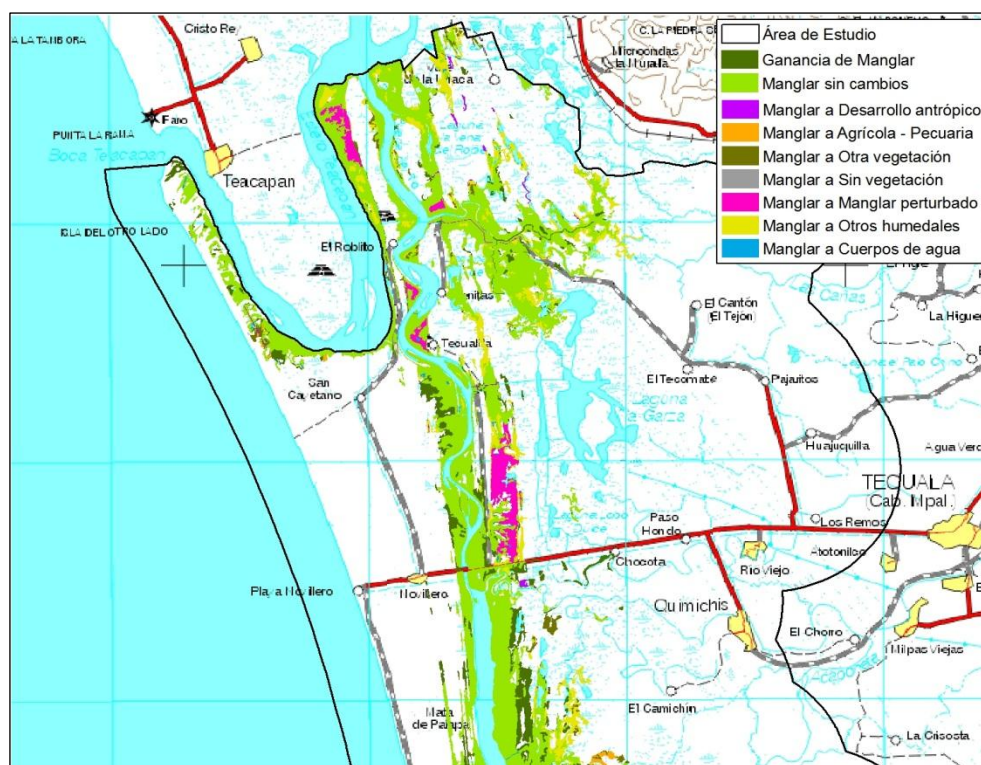


Figura 3.80. Playa Novillero al norte del estado, Nayarit. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1970 - 2005.

También es reconocido por otros trabajos el papel que ha jugado la expansión de la frontera agrícola en Nayarit, en detrimento de otros tipos de vegetación, entre ellos, las zonas de manglar (Bojórquez *et al.* 1997) a partir de la década de 1980. Este efecto se observó en la zona aledaña a Tuxpan (ver Figura 3.81). Al igual que la camaronicultura, los residuos producidos por la agricultura moderna, pueden potenciar los impactos negativos en las condiciones en que los manglares prosperan, siendo a la larga un factor más de su desaparición.

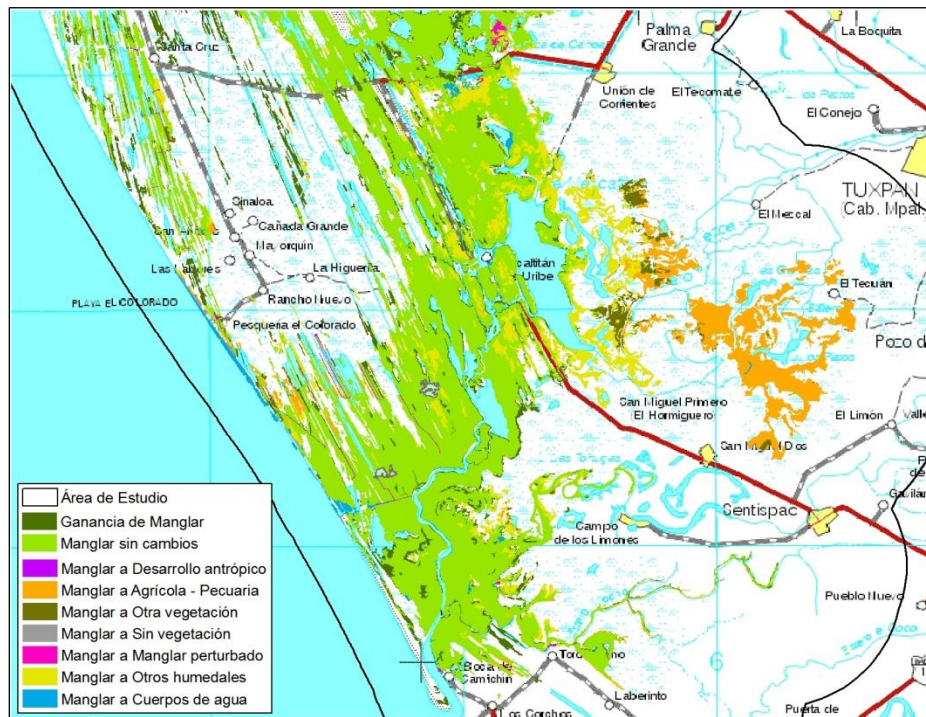


Figura 3.81. Tuxpan, Nayarit. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1970 - 2005.

Afectaciones importantes, muy probablemente relacionadas con cambios en los patrones hidrológicos debidos a la apertura artificial de canales se pueden apreciar en la zona de la laguna de Agua Brava al norte del estado, donde se identificaron amplias zonas de manglar perturbado (Figura 3.82).

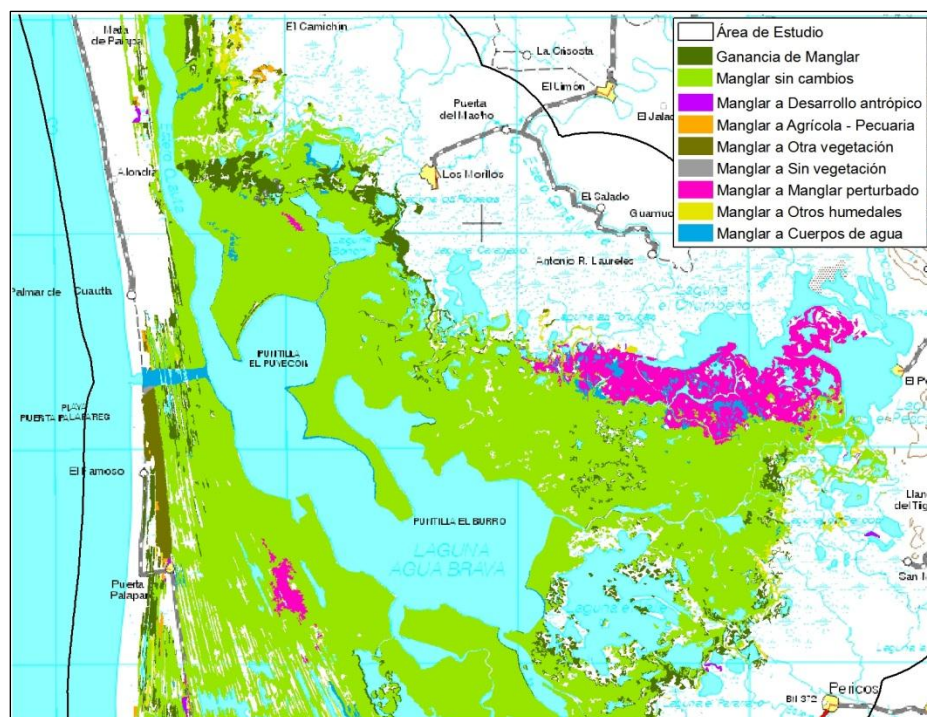


Figura 3.82. Agua Brava, Nayarit. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1970 - 2005.

Tabla 3.64. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Nayarit (1970-2005).

		Mapa 1970								
	Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	3,185.9	3,062.7	1,758.7	152.2	645.4	0.0	6,166.8	387.1	15,358.8
	2.- Agrícola - Pecuaria	179.0	90,490.6	19,320.9	216.2	2,431.1	0.0	10,348.5	1,403.4	124,389.7
	3.- Otra vegetación	28.7	6,735.7	25,804.9	271.8	1,528.3	0.0	2,932.7	339.8	37,641.9
	4.- Sin vegetación	0.1	78.6	112.0	673.5	126.9	0.0	148.4	429.7	1,569.2
	5.- Manglar	5.2	169.4	279.5	53.4	61,882.2	0.0	5,143.1	2,193.4	69,726.2
	6.- Manglar perturbado	0.4	0.0	10.1	0.0	4,603.3	0.0	214.3	34.0	4,862.1
	7.- Otros humedales	9.4	425.1	2,112.2	61.4	4,917.5	0.0	27,341.0	2,442.5	37,309.1
	8.- Cuerpos de agua	8.9	614.0	423.9	666.2	1,889.2	0.0	1,016.6	62,997.5	67,616.3
	Total 1970	3,417.6	101,576.1	49,822.2	2,094.7	78,023.9	0.0	53,311.4	70,227.4	358,473.3
	Estabilidad de Localización (EL)	93.22	89.09	51.79	32.15	79.31		51.29	89.71	
	Estabilidad de Residencia (ER)	349.40	22.46	-24.45	-25.09	-10.63		-30.02	-3.72	

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9. Cartografía digital relacionada: NAY_CC_ccl.shp y NAY_CM_ccl.shp.

Tabla 3.65. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Nayarit (1970-2005).

		Mapa 1970								
	Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	0.89	0.85	0.49	0.04	0.18	0.00	1.72	0.11	4.28
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.05	25.24	5.39	0.06	0.68	0.00	2.89	0.39	34.70
	3.- Otra vegetación	0.01	1.88	7.20	0.08	0.43	0.00	0.82	0.09	10.51
	4.- Sin vegetación	0.00	0.02	0.03	0.19	0.04	0.00	0.04	0.12	0.44
	5.- Manglar	0.00	0.05	0.08	0.01	17.26	0.00	1.43	0.61	19.44
	6.- Manglar perturbado	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28	0.00	0.06	0.01	1.35
	7.- Otros humedales	0.00	0.12	0.59	0.02	1.37	0.00	7.63	0.68	10.41
	8.- Cuerpos de agua	0.00	0.17	0.12	0.19	0.53	0.00	0.28	17.57	18.86
Total 1970		0.95	28.33	13.90	0.59	21.77	0.00	14.87	19.58	99.99

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Patrones e índices espaciales

En la Tabla 3.66 se muestran los resultados del cálculo de los diferentes índices aplicados a la distribución de manglares en el estado de Nayarit en el periodo 1970-2005. Se puede observar que el área de manglar disminuyó en 8,240 ha y que el número de parches en la Fecha 2 es mayor que en la Fecha 1; este patrón sigue lo esperado en términos generales, ya que se asume que a mayor fragmentación existirá un mayor número de parches. La disminución del área total de manglar debido principalmente al cambio de cobertura a otros humedales y perturbación de manglares por actividades principalmente forestales en el estado de Nayarit contribuyó a que el número de parches aumentara a partir de la disgregación de los parches más grandes.

Tabla 3.66. Atributos e índices de la clase manglar en el estado de Nayarit.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM (%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	IF	IIC
F1	78,024	693	44.33	112.59	0.05	0.35	0.85	133.11	0.004
F2	69,784	951	76.08	73.38	0.08	0.43	0.96	76.15	0.002

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; NP: Número de Parches; IPM: Índice de Parche Mayor; AP: Área promedio de los parches; IA_L: Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; IA_S: Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; R_c: Dispersión de parches; IF: Índice de fragmentación; IIC: Índice Integral de conectividad.

En negrillas se muestra el valor más alto.

El valor más alto obtenido para el índice de parche mayor se encuentra en la Fecha 2 con 76.1 contra 44.3 para la Fecha 1. Al contrario de lo que sucede con estados como Sonora y Sinaloa, el incremento del valor en este índice hace que la región sea más propensa a apoyar funciones ecológicas importantes relacionadas con las coberturas naturales de manglar.

La disminución del área total y el incremento considerable del número de parches de manglar fueron acompañados con una reducción de un poco menos de la mitad del área promedio de los parches (Tabla 3.66). El valor de diferencia para el AP entre las dos fechas fue de 39.2 ha y esta diferencia no es estadísticamente significativa ($p = 0.299$; $Z = 1.038$).

Aproximadamente el 74% de los parches estimados en este análisis presentan un tamaño entre 1 a 10 hectáreas para la Fecha 1 y 76% para la Fecha 2. Aunque 90% de los fragmentos se encuentran fuertemente sesgados a un tamaño menor a 47 hectáreas para la Fecha 1, y de 33 ha para la Fecha 2. En contraste tan sólo 44 y 43 parches en cada fecha de análisis fueron determinados con superficies mayores a 100 ha (Figura 3.83). En esta categoría sobresale un parche mayor a 21,000 ha en la Fecha 1 localizado en Laguna Agua Brava, el cual fue interrumpido por la construcción del canal de Cuautla. Para la Fecha 2 sobresale otro parche que llega a más de 21,000 ha y también se encuentra localizado en la parte sur de Laguna Agua Brava.

En esta parte del país, los valores del Índice de amenaza por longitud, muestran un aumento de la Fecha 1 a la Fecha 2, de aproximadamente 0.03, por su parte el Índice de amenaza por superficies presentan un aumento de 0.08 para ambas fechas. El aumento en las superficies de clases antrópicas no sólo repercute en la pérdida de superficie de manglar sino que además el hecho de que aumente el valor del IA_L indica una mayor fragmentación del ecosistema. Aunque la tendencia en esta parte del país sigue siendo la de aumentar las áreas agrícolas, es importante continuar con el monitoreo de este tipo de vegetación para también cuantificar su fragmentación.

El valor de dispersión de parches (R_c), indica que los parches de manglar para la Fecha 1 ($R_c < 1$), y para la Fecha 2 ($R_c < 1$) presentaron una distribución agregada. Esto indica que aunque hubo un impacto de las actividades antrópicas en la región y hubo cambios de cobertura estos no fueron lo suficientemente fuertes para cambiar la forma de distribución espacial de los parches de manglar.

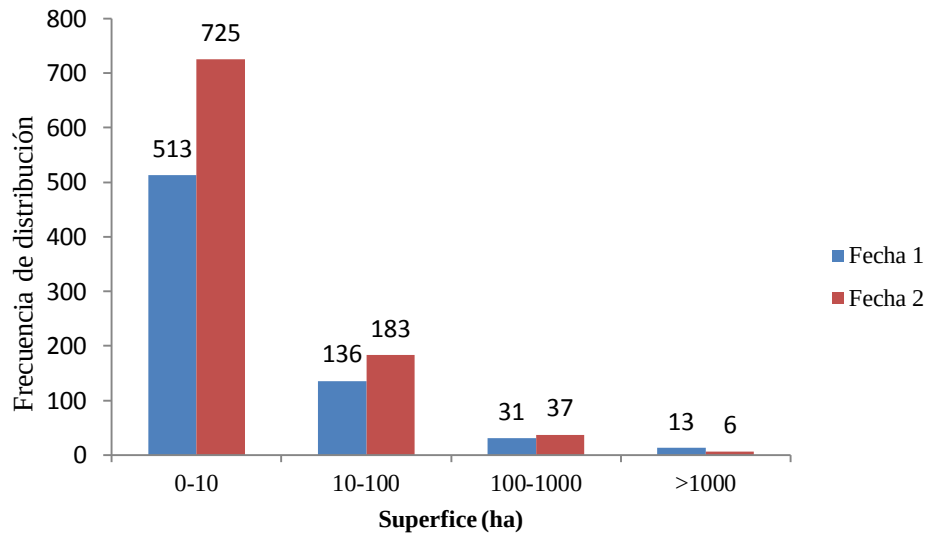


Figura 3.83. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Nayarit.

Con relación al índice de fragmentación (IF), el menor valor obtenido en la Fecha 2 (76.1) en relación con la Fecha 1 (133.1) nos indica que la reducción de superficie de manglar va ligada a procesos de fragmentación de esta cobertura.

De los 693 parches de manglar observados en la Fecha 1 en el estado de Nayarit cinco de ellos (en total 48,336 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) *Alto* y *Muy Alto*, mientras que en la Fecha 2, de los 951 parches de manglar presentes en esa fecha, también se identificaron cuatro parches (en total 46,274 ha) con valor de IIC *Alto* y *Muy Alto*. (Figura 3.84 y Mapas 21 y 22 del Anexo 2).

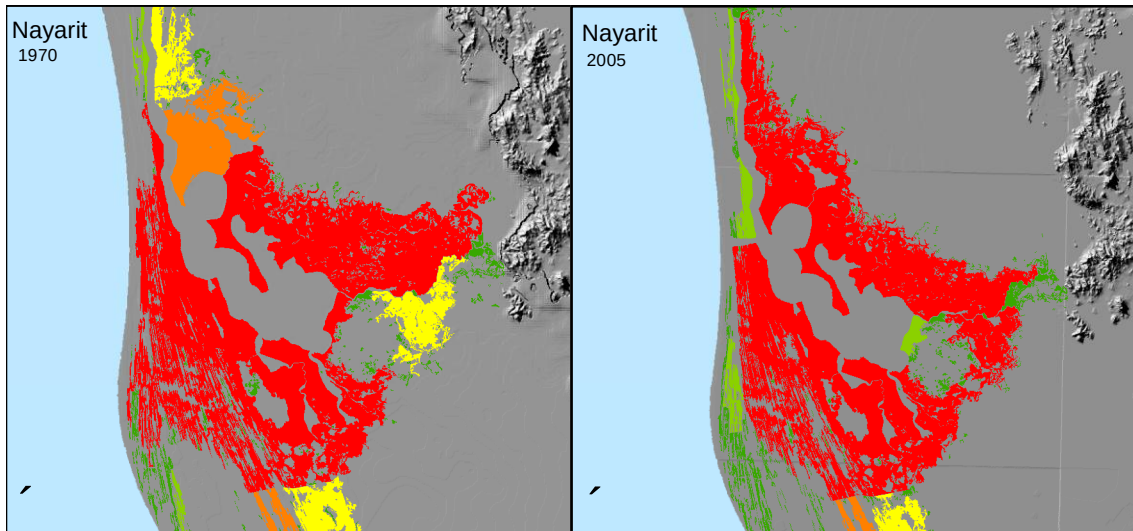


Figura 3.84. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Nayarit.

Simbología: Rojo = Muy alto, Naranja = Alto, Amarillo = Medio, Verde claro = Bajo y Verde oscuro = Muy bajo, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua

La superficie del parche con valor más alto de IIC para la Fecha 1 fue de 21,386 ha, mientras que para la Fecha 2, la superficie del parche con valor más alto de IIC fue de 21,191 ha, ubicado en el área protegida de Marismas Nacionales (Figura 3.85). En este caso se registró una disminución de 195 ha de la superficie total de manglar del parche con mayor valor de IIC, por lo que sería recomendable analizar en el corto plazo los orígenes de esta disminución, para evitar mayores modificaciones al parche. Aunado a esto, el total de la superficie de manglar con un valor Muy alto o Alto de IIC disminuyó 2,062 ha.

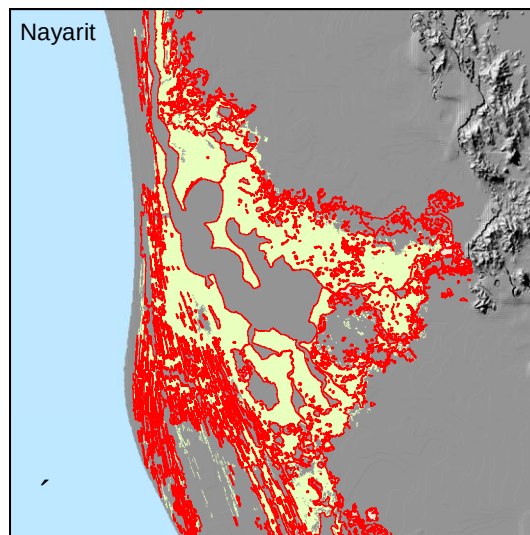


Figura 3.85. Sobreposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Nayarit.

Simbología: Contorno rojo = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1, Verde = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 2, Línea Azul = Límite estatal.

Validación mapa 2005

Se realizó la evaluación de exactitud del mapa de uso del suelo y vegetación del estado de Jalisco utilizando 52 puntos obtenidos de fotografías aéreas de alta resolución más 31 puntos obtenidos de otras instituciones (ver sección de materiales y métodos), por lo que en total se obtuvieron 83 puntos de los cuales se presenta la evaluación de 44 correspondientes a las 4 clases evaluadas. La exactitud global del mapa es de 86.36% (Tabla 3.67) y el índice de Kappa resultó en 0.82. Al generar la matriz de confusión ponderada por las áreas correspondientes a cada clase del mapa, para evitar el sesgo provocado por el tipo de muestreo seleccionado, la exactitud global estimada es de 86.17% (Tabla 3.68), debido particularmente a que el manglar esta sobremuestreado dada la relación del porcentaje de puntos obtenidos del vuelo CONABIO, con respecto del área que ocupan. El índice de Kappa en la matriz ponderada resultó en 0.76.

Tabla 3.67. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Jalisco.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	16	1	0	0	17	5.88
	3.- Otra vegetación	1	12	2	0	15	20.00
	5.- Manglar	0	1	9	0	10	10.00
	7.- Otros humedales	1	0	0	1	2	50.00
	Total	18	14	11	1	44	Exactitud Global %
Error de Omisión %						86.36	
Exactitud Productor %							
^K						0.82	

Tabla 3.68. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Jalisco, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	42.80	2.68	0.00	0.00	45.48	5.88
	3.- Otra vegetación	3.32	39.82	6.64	0.00	49.78	20.00
	5.- Manglar	0.00	0.29	2.65	0.00	2.94	10.00
	7.- Otros humedales	0.90	0.00	0.00	0.90	1.80	50.00
	Total	47.02	42.79	9.28	0.90	100	Exactitud Global %
Error de Omisión %						86.17	
Exactitud Productor %							
^K						0.76	

Al analizar la matriz de confusión ponderada por áreas se observa que las clases *Manglar* tiene una exactitud de usuario del 90% mientras que tiene un error de omisión del 71.5%, adjudicado principalmente a la clase *Otra vegetación*. Este comportamiento es el resultado de quitarle peso al sobremuestreo de la clase *Manglar*, por su baja representatividad proporcional en el área provocando que aparentemente se tenga una alta confusión con *Otra vegetación*. La clase *Otros humedales* tienen un 50% de probabilidad de estar bien clasificados, según estos datos; sin embargo se debe considerar que estos bajos valores de exactitud se pueden deber a que la clase *Otros humedales* esta submuestreada, ya que sólo existieron dos puntos de validación y uno de ellos es erróneo.

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para 1971 (Fecha 1) y 2005 (Fecha 2) de Jalisco, estos se presentan en la Figura 3.86 y en la Tabla 3.69, así como en el Anexo 1, Mapas 45 a 48.

Para el estado de Jalisco, el área de estudio es de 94,482.8 ha, que representa el 1.10% del total nacional. La distribución de tipos de cobertura en el año inicial, mostraba tres clases dominantes: *Otra vegetación*, *Agrícola-pecuaria* y *Cuerpos de agua*. Entre las tres sumaban el 84% del área total. Para el 2005 la distribución de dominancia se consolida pasando al 89% del área total, debido básicamente al incremento de las áreas de pastoreo y cultivos.

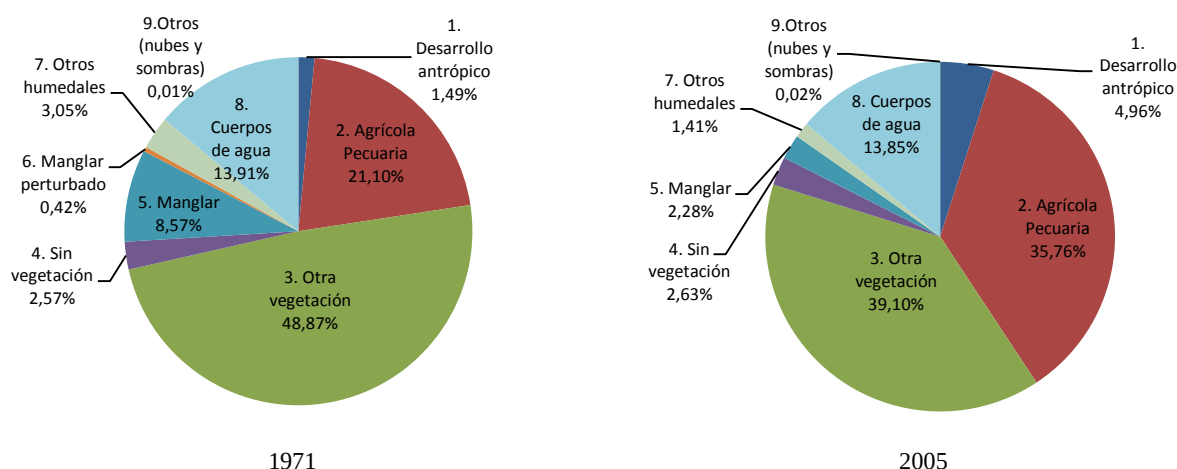


Figura 3.86. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Jalisco en los años 1971 y 2005.

Tabla 3.69. Extensión del uso del suelo y vegetación en Jalisco (1971-2005).

Clase	1971		2005		+/- Netas	r (%)
	ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	1,405.8	1.49	4,683.7	4.96	3,277.9	3.60
2.- Agrícola - Pecuaria	19,937.8	21.10	33,782.9	35.76	13,845.1	1.61
3.- Otra vegetación	46,174.2	48.87	36,944.8	39.10	-9,229.4	-0.66
4.- Sin vegetación	2,432.2	2.57	2,485.7	2.63	53.5	0.06
5.- Manglar	8,098.3	8.57	2,150.0	2.28	-5,948.3	-3.94
6.- Manglar perturbado	398.6	0.42	0.0	0.00	-398.6	n.a.
7.- Otros humedales	2,882.8	3.05	1,330.3	1.41	-1,552.5	-2.12
8.- Cuerpos de agua	13,144.9	13.91	13,086.0	13.85	-58.9	-0.02
9.-Otros (nubes y sombras)	8.2	0.01	19.4	0.02	n.a.	n.a.
Total	94,482.8	99.99	94,482.8	100.01		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo de cifras.

En términos de superficie total es posible apreciar cambios sustanciales, destacando un incremento en la superficie de *Agrícola-pecuaria* y *Desarrollo antrópico*, así como un decremento en las clases *Otra vegetación*, *Manglar* y *Otros humedales*. También atendiendo a la superficie total, se contabilizan durante el periodo de estudio 32,781 ha que cambiaron de alguna categoría a otra, lo que representa el 34.70% del área total (ver Tabla 3.70). De estos cambios, los más cuantiosos fueron los que se presentaron de la clase *Otra vegetación* hacia *Agrícola pecuario* (14,043 ha), representando un 44% del total de cambios. Notable

también es la superficie que la clase *Manglar* cede durante este periodo a la clase *Otra vegetación* (2,692 ha) y a la clase *Agrícola pecuario* (2,618 ha), en conjunto representan el 16% de los cambios totales.

Las tasas de transformación que se muestran en la Tabla 3.69 confirman a la clase *Manglar* como la más afectada por los cambios de cobertura (-3.94% anual) seguida de *Otros humedales* (-2.12% anual) y *Otra vegetación* (-0.66%). Por otra parte, la clase *Desarrollo antrópico* presentó un crecimiento sustancial con una tasa de cambio de 3.6% anual, seguida de la clase *Agrícola pecuario*, 1.61% anual y en menor medida, *Sin vegetación* (0.06% anual).

En términos de superficie relativa a cada clase, como había de esperarse por lo descrito anteriormente, las clases *Otros humedales* y *Manglar* exhiben los valores de estabilidad de localización (EL) más bajos 17.7% y 21.66% respectivamente, lo que indica que sus áreas de distribución originales se redujeron drásticamente (82.3% y 78.34% respectivamente), además de valores de estabilidad de residencia (ER) negativas (-53.85% y -73.45%). Las áreas donde la clase *Manglar* recuperó terreno, correspondieron principalmente a áreas de la clase *Otros humedales*. El caso de la clase *Manglar perturbado* (EL de 0 y ER de -100) obedece a algunas áreas identificadas en 1971 que en 2005 desaparecieron pasando a formar parte de otras clases.

El grupo formado por las clases *Desarrollo antrópico*, *Agrícola-pecuaria*, *Otra vegetación* y *Cuerpos de agua*, presentan valores de EL arriba del 60%, lo que indica que más de la mitad de las áreas originales se han conservado durante el periodo de estudio. De ellas destaca la clase *Desarrollo antrópico* al presentar además una ER de 233%, lo que indica que a las zonas que se conservaron, se sumaron otras que han triplicado la extensión de este tipo de áreas, al pasar de 1,406 ha en la década de 1970 a 4,684 ha en el 2005.

La clase *Sin vegetación* con una EL de 49.7% indica que la mitad de la superficie original fue llevada a otras clases, sin embargo, con una ER de 2.19% estas pérdidas fueron compensadas al punto que permitieron un ligero incremento en la superficie original, a costa principalmente de las clases *Cuerpos de agua*, *Agrícola-Pecuaria* y *Otra vegetación*.

Desde mediados del siglo pasado, con el desarrollo y promoción de Puerto Vallarta (INAFED 2010b) comenzó un rápido desarrollo económico en la región, que no necesariamente tomó en cuenta aspectos de conservación y recuperación ecológica. Posteriormente, a principios del año 2000, la costa de Jalisco, denominada por el gobierno del estado como la Costa Alegre (Gobierno del estado de Jalisco 1999), comenzó a ser objeto de polémica al relanzarse su promoción como zona de desarrollo turístico. Esto ha llevado a un desarrollo explosivo, no homogéneo en la región, teniendo como ejes los desarrollos turísticos de Puerto Vallarta en el norte y al sur el de Barra de Navidad (Chávez *et al.* 2006). Esta política de desarrollo se refleja fielmente en el incremento en infraestructura observado durante los últimos años.

Otro efecto de las políticas de desarrollo económico para esta región, fue que durante varios años, esta zona se convirtió en un polo de atracción demográfica, incrementando la cantidad de población, que pasó de 195,886 habitantes en 1990 a 311,602 en 2005, es decir, un incremento en 15 años del 59%, mientras que el estado de Jalisco, en global, contabilizó un incremento de 27% en la población durante el mismo periodo (INEGI 2011c). Esto se ha traducido como una mayor presión sobre los recursos naturales, lo cual se ve reflejado en el incremento de las áreas dedicadas a la agricultura y al pastoreo, que de representar el 21% de la superficie total en la primer fecha de estudio, pasaron a representar el 36% para el 2005.

Los efectos sobre las comunidades de manglar se han traducido de forma directa. De las 6,344 ha identificadas como cambios durante el periodo de estudio correspondientes a la clase *Manglar*, el 84% de los cambios se debieron a la sustitución de éste por las clases *Otra vegetación* y *Agrícola-pecuaria* (Figura 3.87). Esto sugiere procesos de eliminación directa del arbolado con el fin de aprovechar materias primas

o bien apertura de terrenos. Por otro lado, las áreas que colonizó el manglar son, comparadas con las pérdidas, poco significativas, extendiéndose en 169 ha sobre la clase *Otros humedales*, principalmente.

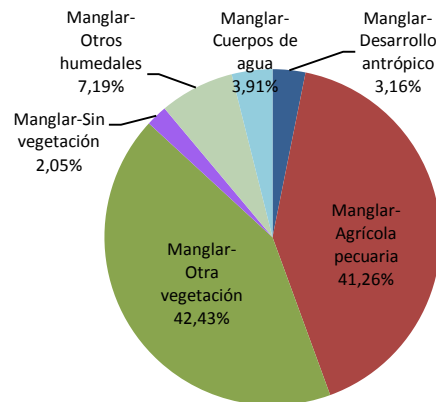


Figura 3.87. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Jalisco durante el periodo 1971 – 2005.

Las áreas con mayores cambios se localizan al norte, en el municipio de Tomatlán, entre los esteros del Ermitaño y Loya (Figura 3.88). Las actividades principales en esta zona son la agricultura y la ganadería, a las cuales se dedica más de la mitad de la población económicamente activa (PEA) (INAFED 2010b), en contraste con el global de la población de la región costa, que en términos generales mantiene a la mitad de PEA en el sector de servicios (SEMARNAP 1999).



Figura 3.88. Costa de Tomatlán, Jalisco. Pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1971 – 2005.

En la parte sur de la región de estudio, los cambios en términos de superficie total no son tan llamativos como los que se verificaron en el norte, sin embargo también es posible identificar un fuerte decremento

relativo de las zonas de manglar, estos procesos han sido bien documentados para la zona de la laguna en Barra de Navidad (Figura 3.89), en donde se estimaron tasas de transformación similares a las obtenidas en este estudio para la clase *Manglar*, durante el periodo 1985-2000 (-3.2% anual) (Holland *et al.* 2011). Los principales motores de esta dinámica, al igual que en toda la región, obedecen al fuerte impulso en la construcción de infraestructura turística y a la promoción de esta región como destino turístico, además de los efectos indirectos, pero relacionados con el desarrollo (contaminación, modificación de corrientes de agua, apertura de canales y dragados, principalmente), que generan una fuerte presión para el cambio de uso de suelo.



Figura 3.89. Barra de Navidad, Jalisco. Pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1971 – 2005.

Esta presión, especialmente hacia las áreas de manglar, llevó a grupos interesados en la conservación de los esteros a promover a los manglares en Barra de Navidad como sitio Ramsar en 2007 (Ramsar 2008b), como parte de una estrategia de conservación.

Las probabilidades de cambio reportadas en la Tabla 3.71 confirman las tendencias de cambio en la clase manglar hacia otros tipos de vegetación y actividades agropecuarias. En esta área de estudio han sido identificados cuatro grupos de comunidades de manglar considerados prioritarios por CONABIO: Laguna Barra de Navidad, Laguna Chalacatepec, Sistema Chamela-Cuixmala y Sistema Lagunar Estuarino Agua Dulce El Ermitaño (CONABIO 2009a). Sin embargo, la región continúa siendo impulsada como polo de desarrollo. Justamente para la zona de Tomatlán, se tiene proyectado un desarrollo turístico con una extensión de 1,200 ha, con 8 km de playa (H. Ayuntamiento de Tomatlán 2010), que aspira a competir con los principales destinos de playa del país, lo que probablemente mantendrá una fuerte dinámica de cambios en la cobertura terrestre de la región durante los próximos años.

Tabla 3.70. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Jalisco (1971-2005).

Mapa 1971										
Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005	
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	1,079.8	2,154.1	902.3	83.6	200.2	0.3	231.5	31.9	4,683.7
	2.- Agrícola - Pecuaria	190.9	14,701.5	14,427.8	362.1	2,617.7	121.6	1,146.2	215.1	33,782.9
	3.- Otra vegetación	120.2	2,596.1	30,316.5	320.9	2,691.5	151.9	548.6	191.7	36,937.4
	4.- Sin vegetación	5.5	160.3	393.7	1,208.8	130.0	4.1	151.7	431.4	2,485.5
	5.- Manglar	3.7	50.4	22.5	12.6	1,754.4	64.7	169.2	72.5	2,150.0
	6.- Manglar perturbado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	7.- Otros humedales	1.8	187.8	50.8	18.9	456.3	32.5	510.2	72.0	1,330.3
	8.- Cuerpos de agua	3.9	87.6	41.2	425.3	248.2	23.5	125.4	12,130.3	13,085.4
Total 1971	1,405.8	19,937.8	46,154.8	2,432.2	8,098.3	398.6	2,882.8	13,144.9	94,455.2	
Estabilidad de Localización (EL)	76.81	73.74	65.68	49.70	21.66	0.00	17.70	92.28		
Estabilidad de Residencia (ER)	233.17	69.44	-19.97	2.19	-73.45	-100.00	-53.85	-0.45		

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9, la cual podría presentar sobreposición en ambas fechas. Cartografía digital relacionada: JAL_CC_ccl.shp y JAL_CM_ccl.shp.

Tabla 3.71. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Jalisco (1971-2005).

		Mapa 1971								
Clase		1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	1.14	2.28	0.96	0.09	0.21	0.00	0.25	0.03	4.96
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.20	15.56	15.27	0.38	2.77	0.13	1.21	0.23	35.75
	3.- Otra vegetación	0.13	2.75	32.10	0.34	2.85	0.16	0.58	0.20	39.11
	4.- Sin vegetación	0.01	0.17	0.42	1.28	0.14	0.00	0.16	0.46	2.64
	5.- Manglar	0.00	0.05	0.02	0.01	1.86	0.07	0.18	0.08	2.27
	6.- Manglar perturbado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7.- Otros humedales	0.00	0.20	0.05	0.02	0.48	0.03	0.54	0.08	1.40
	8.- Cuerpos de agua	0.00	0.09	0.04	0.45	0.26	0.02	0.13	12.84	13.83
Total 1971		1.48	21.10	48.86	2.57	8.57	0.00	3.05	13.92	99.96

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Patrones e índices espaciales

En la Tabla 3.72 se muestran los resultados del cálculo de los diferentes índices aplicados a la distribución de manglares en el estado de Jalisco en el periodo 1971- 2005. Se puede observar que el área de manglar se redujo en 5,948 ha y que el número de parches en la Fecha 2 es menor que en la Fecha 1; este patrón es opuesto a lo que se esperaría en términos generales, ya que se asume que a mayor fragmentación existirá un mayor número de parches. Sin embargo debido a las características geográficas de la costa de Jalisco, así como de toda la región del Pacífico Centro, la reducción de parches en la Fecha 2 puede ser causa de una pérdida total de los parches de manglar que se encontraban presentes en la Fecha 1.

Tabla 3.72. Atributos e índices de la clase manglar en el estado de Jalisco.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM (%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	IF	IIC
F1	8,098	169	28.02	47.92	0.16	0.19	0.94	50.84	0.0157
F2	2,150	124	25.69	17.34	0.10	0.40	0.70	24.81	0.0253

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; **NP:** Número de Parches; **IPM:** Índice de Parche Mayor; **AP:** Área promedio de los parches; **IA_L:** Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; **IA_S:** Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; **R_c:** Dispersión de parches; **IF:** Índice de fragmentación; **IIC:** Índice Integral de conectividad.

En negrillas se muestra el valor más alto.

El valor más alto obtenido para el índice de parche mayor se encuentra en la Fecha 1 con 28.0 contra 25.7 para la Fecha 2. Esta reducción en el valor del índice nos indica que la cobertura de manglar está perdiendo la capacidad de apoyar funciones ecológicas importantes relacionadas con las coberturas naturales.

La disminución del área total y del número de parches de manglar fueron acompañados con una reducción del área promedio de los parches (Tabla 3.72). El valor de diferencia para el AP entre las dos fechas fue de 30.6 ha y esta diferencia es estadísticamente significativa ($p= 0.000$; $Z = 7.518$).

Aproximadamente el 66% de los parches estimados en este análisis presentan un tamaño entre 1 a 10 hectáreas en las dos fechas. Aunque 90% de los fragmentos se encuentran fuertemente sesgados a un tamaño menor a 61 hectáreas para la Fecha 1, y de 19 ha para la Fecha 2. En contraste, sólo 14 (Fecha 1) y 6 (Fecha 2) parches fueron determinados con superficies mayores a 100 ha (Figura 3.90). En esta categoría sobresale un parche mayor a 2,200 ha en la Fecha 1 localizado entre los esteros El Ermitaño y El Chorro, en el municipio de Tomatlán. En la Fecha 2 este mismo parche se redujo a vestigios de parches de manglar que en conjunto no llegan ni a 35 ha. De esta manera es que para la Fecha 2 sobresale otro parche que presenta una superficie mayor a 500 ha y que se encuentra a localizado en la barra de la playa de Chalacatepec.

El índice de amenaza por longitud, presenta una disminución de Fecha 1 a Fecha 2 de 0.06, mientras que el Índice de superficies de clases antrópicas adyacentes aumenta su valor para el mismo periodo de tiempo, de 0.19 a 0.40. El aumento en la superficie de las clases antrópicas adyacentes, ha sido uno de los principales agentes de pérdida de la superficie de mangle, éste se ha reducido en casi dos terceras entre el periodo de tiempo de Fecha 1 a Fecha2, ocasionado mayoritariamente por el aumento de áreas agrícolas. Sí las características sociales y económicas que presenta el área de estudio continúan actuando sin cambio alguno, es muy posible que los índices muestren las mismas tendencias en un futuro y que la superficie de manglar siga reduciéndose.

El valor de dispersión de parches (R_c), indica que los parches de manglar para ambas fechas ($R_c < 1$), presentaron una distribución agregada. En el cálculo del índice de fragmentación (IF), el valor obtenido en

la Fecha 2 (24.8) el cual representa más de la mitad del valor obtenido en la Fecha 1 (50.8) nos indica que existe un fuerte proceso de fragmentación en el estado.

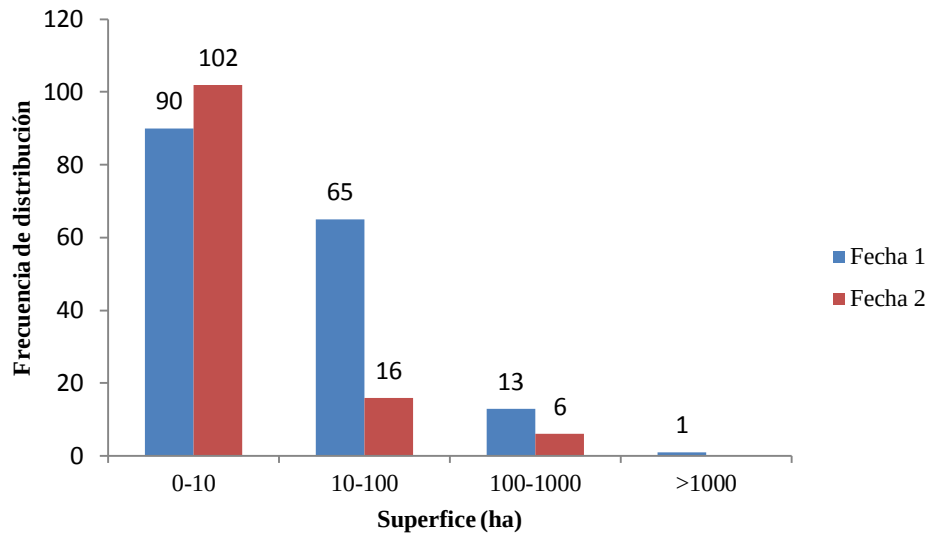


Figura 3.90. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Jalisco.

De los 169 parches de manglar observados en la Fecha 1 en el estado de Jalisco tres de ellos (en total 1,123 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) *Alto* y *Muy Alto*, mientras que en la Fecha 2, de los 124 parches de manglar presentes en esa fecha, se lograron identificar 10 parches (en total 1,483 ha) con valor de IIC *Alto* y *Muy Alto* (Figura 3.91 y Mapas 23 y 24 del Anexo 2).

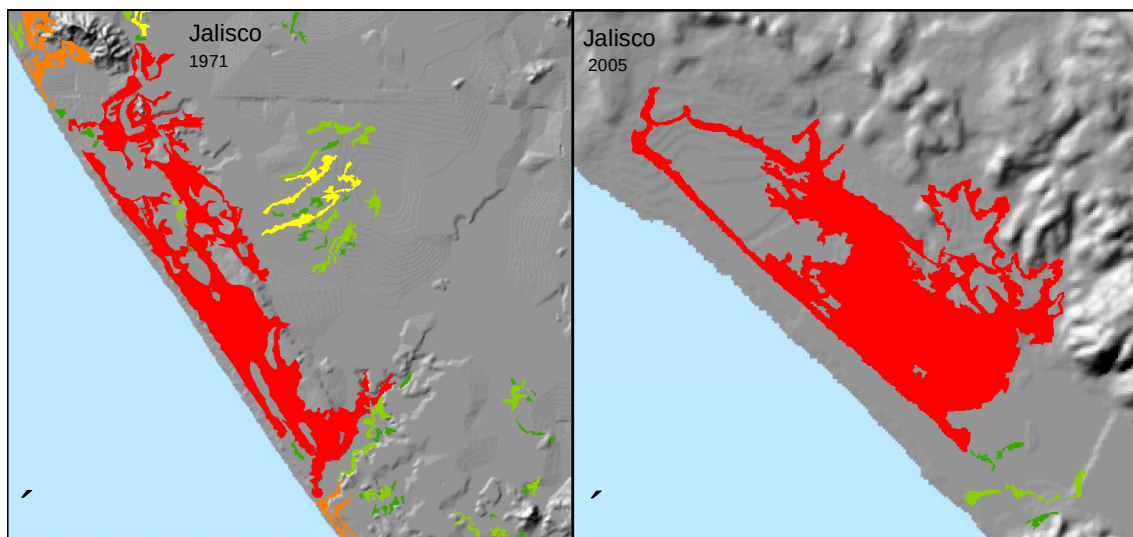


Figura 3.91. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Jalisco.

Simbología: Rojo = Muy alto, Naranja = Alto, Amarillo = Medio, Verde claro = Bajo y Verde oscuro = Muy bajo, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua

La superficie del parche con valor más alto de IIC para la Fecha 1 fue de 2,284 ha, mientras que para la Fecha 2, la superficie del parche con valor más alto de IIC fue de 557 ha. En este caso se registró una disminución de 1,727 ha de la superficie total de manglar del parche con mayor valor de IIC, que cabe

señalar no es el mismo en las dos fechas, en la primera fecha se encontraba cerca del poblado La Cruz de Loreto y en la Fecha 2 corresponde al sitio denominado Chalacatepec, prácticamente todo el parche de manglar con el mayor valor de IIC en la Fecha 1 fue convertido a agricultura (Figura 3.92). Aunado a esto, el total de la superficie de manglar con un valor Muy alto o Alto de IIC en general disminuyó 1,874 ha; todo esto sugiere la baja aplicación de medidas adecuadas para la conservación y rehabilitación del ecosistema de manglar en el estado.

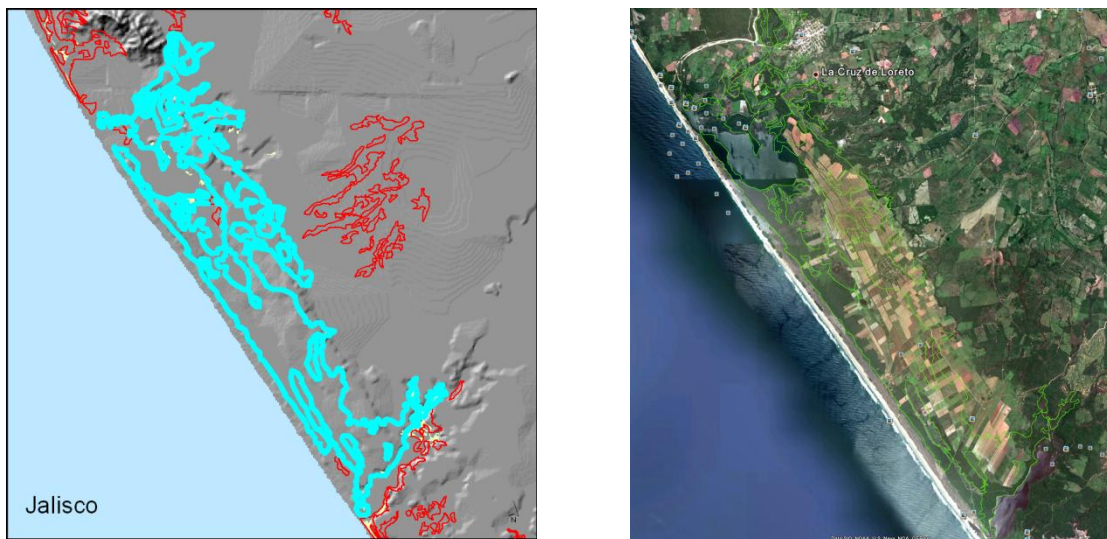


Figura 3.92. En azul claro se muestra la ubicación del parche con mayor índice integral de conectividad para la Fecha 1 en el estado de Jalisco, el cual ya no existe para la Fecha 2 del análisis. A la derecha, en *Google Earth* en el límite verde se muestra la distribución del parche con mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1 y su conversión a agricultura en la Fecha 2.

Colima

Validación mapa 2005

La validación para el estado de Colima se realizó usando 24 fotografías aéreas de alta resolución tomadas por CONABIO más 113 puntos de validación provenientes de otras instituciones (ver sección de materiales y métodos), por lo que en total se obtuvieron 137 puntos de los cuales se presenta la evaluación de 121 correspondientes a las 4 clases evaluadas. La exactitud global del mapa de uso del suelo y vegetación para el 2005 de Colima es de 93.39% (Tabla 3.73) y el índice de Kappa es de 0.80. Al generar la matriz de confusión ponderada por las áreas correspondientes a cada clase del mapa para evitar el sesgo provocado por el tipo de muestreo seleccionado, la exactitud global estimada disminuye ligeramente a 91.83% (Tabla 3.74), el índice de Kappa resultó en 0.86.

Tabla 3.73. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Colima.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	98	2	1	2	103	4.85
	3.- Otra vegetación	0	5	0	1	6	16.67
	5.- Manglar	0	1	7	1	9	22.22
	7.- Otros humedales	0	0	0	3	3	0.00
	Total	98	8	8	7	121	Exactitud Global %
Error de Omisión %						93.39	
Exactitud Productor %						93.39	
^K						0.80	

Tabla 3.74. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Colima, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	57.48	1.17	0.59	1.17	60.41	4.85
	3.- Otra vegetación	0.00	20.32	0.00	4.06	24.39	16.67
	5.- Manglar	0.00	0.59	4.11	0.59	5.28	22.22
	7.- Otros humedales	0.00	0.00	0.00	9.92	9.92	0.00
	Total	57.48	22.08	4.70	15.74	100	Exactitud Global %
Error de Omisión %						91.83	
Exactitud Productor %						91.83	
^K						0.86	

Al evaluar la matriz de confusión ponderada por áreas, en comparación con la matriz sin ponderar, se observa que los resultados son muy similares. La clase *Agrícola-pecuaria* presenta un sobremuestreo importante pero con un alto porcentaje de exactitud de usuario y productor. La clase *Manglar*, tiene el nivel más bajo de exactitud de usuario con el 77.78%, presentado errores de comisión contra las clases *Otra vegetación* y *Otros humedales*. La clase *Otra vegetación* presenta un submuestreo considerable, ya que únicamente tiene seis puntos de validación cuando le corresponderían aproximadamente el 24% de los puntos (30 puntos), a pesar de esto, la clase *Otra vegetación* presenta un buen nivel de exactitud de productor (92.03%). Otra clase muy afectada por la escasez de puntos de validación es la de *Otros*

humedales, pues con tan sólo tres puntos se observa un error de omisión de prácticamente el 63% con las principales confusiones con áreas agrícolas.

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para 1971 (Fecha 1) y 2005 (Fecha 2) de Colima, estos se presentan en la Figura 3.93 y en la Tabla 3.75, así como en el Anexo 1, Mapas 49 al 52.

Para el estado de Colima, el área de estudio es de 80,965.8 ha, que representa el 0.94% del total nacional. En este estado se tiene que desde la fecha 1 existían tres clases dominantes: *Agrícola-pecuaria*, *Otra vegetación* y *Cuerpos de agua*. Entre ellas sumaban 80.60% de la superficie total. Para el 2005 la composición no se modifica, ocupando entre las mismas clases 81.31%, pese a que una de ellas (*Otra vegetación*), tuvo una disminución del 17.11% de su superficie original. Las otras dos clases en cambio incrementaron su área de distribución.

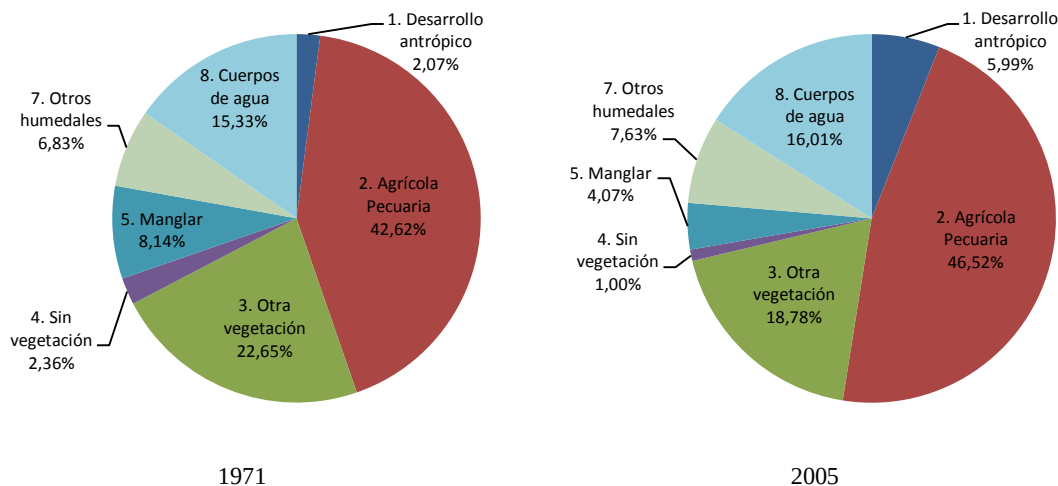


Figura 3.93. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Colima en los años 1971 y 2005.

Tabla 3.75. Extensión del uso del suelo y vegetación en Colima (1971-2005).

Clase	1971		2005		+/- Netas	r (%)
	ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	1,674.4	2.07	4,850.8	5.99	3,176.4	3.23
2.- Agrícola - Pecuaria	34,504.8	42.62	37,662.8	46.52	3,158.0	0.45
3.- Otra vegetación	18,342.6	22.65	15,205.0	18.78	-3,137.6	-0.55
4.- Sin vegetación	1,913.2	2.36	806.1	1.00	-1,107.1	-2.56
5.- Manglar	6,588.7	8.14	3,293.7	4.07	-3,295.0	-2.08
6.- Manglar perturbado	0.0	0.00	0.0	0.00	n.a.	n.a.
7.- Otros humedales	5,533.0	6.83	6,181.6	7.63	648.6	0.49
8.- Cuerpos de agua	12,409.1	15.33	12,965.8	16.01	556.7	0.14
9.-Otros (nubes y sombras)	0.0	0.00	0.0	0.00	n.a.	n.a.
Total	80,965.8	100.00	80,965.8	100.00		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Las tasas de transformación de la Tabla 3.75 muestran que la clase de cobertura que ha mostrado un mayor ritmo de incremento en superficie es *Desarrollo antrópico* con 3.23% de incremento anual. Las clases *Otros humedales*, *Agrícola-pecuaria* y *Cuerpos de agua*, muestran también incrementos, sin embargo, mucho más moderados (0.49%, 0.45% y 0.14% respectivamente).

Por otra parte, las clases *Sin vegetación* y *Manglar*, muestran tasas de transformación negativas, es decir, pérdidas sostenidas de su superficie a lo largo del tiempo de 2.56% y 2.08% respectivamente. La misma tendencia de decremento es observada para la clase *Otra vegetación*, aunque de sólo 0.55% anual.

En la matriz de detección de cambios (Tabla 3.76), se observa que en total, se presentaron cambios de categoría en 16,956 ha. Por superficie total, los tipos de cambio de cobertura de suelo con mayor área han sido: *Otra vegetación* que pasa a *Agrícola-pecuaria* (3,807 ha, o el 22.45% del total de cambios) seguido de *Manglares* que pasaron a ser *Otros humedales* (2,113 ha, o el 12.46% del total de cambios) y *Agrícola-pecuaria* a *Desarrollo antrópico* (1,978 ha, o el 11.66% del total de cambios). Es interesante notar como la zona urbana del puerto de Manzanillo destaca por su crecimiento durante el periodo de estudio (Figura 3.94), a expensas de antiguas zonas de la clase *Agrícola-pecuaria*, que a su vez fueron compensadas por la apertura de nuevas zonas de cultivo y pastoreo en los alrededores en zonas que correspondían originalmente a la clase de *Otra vegetación*. Las zonas de manglar afectadas indirectamente, aparentemente han perdido masa arbórea y han pasado principalmente a la clase de *Otros humedales*.

En términos de la superficie relativa de cada clase, *Sin vegetación* y *Manglar*, fueron las clases con mayores pérdidas en su área de distribución (Tabla 3.76), lo cual se refleja en los valores de Estabilidad de localización (EL) más bajos entre todas las clases (36% y 40%) y estabilidad de residencia (ER) de -58% y -50% respectivamente, es decir, ambas redujeron en más de la mitad su superficie original entre el periodo de estudio, cediéndola principalmente a *Cuerpos de agua* y *Otra vegetación* en el caso de la clase *Sin vegetación*, mientras que para el caso de *Manglar*, ésta clase cedió su superficie a *Otros humedales* (54% de los cambios de manglar a otra categoría) y *Agrícola-pecuaria* (30% de los cambios de *Manglar* a otra categoría) (Figura 3.95).

La clase *Otra vegetación*, que en términos de superficie total aportó una de las mayores áreas de cambio, en términos relativos implicó una reducción en su superficie respecto a la Fecha 1 de sólo 17% de la superficie de distribución (ER=-17%), pasando a formar parte de las zonas *Agrícola-pecuaria* principalmente.

El resto de las clases muestra valores de ER positivos, destacando la clase *Desarrollo antrópico* con 190%, lo que implica que casi se triplicó. No obstante este incremento en superficie, se perdió el 28% la superficie original en la década de 1970 para esta clase (EL de 72%).

Las clase que mostró una mayor estabilidad de localización (EL) a lo largo del periodo de estudio fue: *Agrícola-pecuaria* con sólo 10% de cambios en la superficie original, que no obstante fueron compensados con áreas provenientes principalmente de la clase *Otros tipos de vegetación*, de la que obtuvo 2,675 ha, las cuales representan 84.71% de la ganancia neta al final del periodo.

Las regiones costeras de México se caracterizan por su activa dinámica (Merino 1987), como se señaló anteriormente, uno de los cambios más notables en esta zona es el crecimiento en la clase *Desarrollo antrópico* en la zona de Manzanillo, que es el municipio que concentra a casi una cuarta parte de la población total de estado. De acuerdo con información del INEGI, en 1990 se estimaban 92,863 habitantes en este municipio, para el 2005 la población se incrementó en 48%, alcanzando los 137,842 habitantes (INEGI 2011c). El desarrollo acelerado de la región ha sido relativamente reciente. En 1971 se inauguró el aeropuerto internacional y el primer complejo turístico (INAFED 2005), con lo que comenzó un acelerado crecimiento en infraestructura, como fue la construcción de una planta termoeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y que continúa a la fecha. De acuerdo con el Plan Municipal 2009-2012 se

contempla la ampliación del puerto, la construcción de una regasificadora de gas natural para la CFE y un gasoducto entre Manzanillo y Guadalajara (H. Ayuntamiento Constitucional de Manzanillo 2010), que de forma particular, se reconoce afectará a las comunidades de manglar en la laguna de Cuyutlán, ya perturbadas por actividades de extracción de sal y contaminación proveniente de desagües urbanos y buques que arriban al puerto. En menor medida, pero dentro del mismo contexto, se encuentra la región cercana al poblado de Barra de Navidad en estado de Jalisco, esto es, sustitución de áreas *Agrícola-pecuarias* por infraestructura turística y apertura de terrenos de la clase *Otra vegetación* en las partes altas para compensarlas, además de cambios en la densidad de masa arbórea de los manglares, que los lleva a la categoría de *Otros humedales*. Cabe destacar que en esta zona se encuentra el aeropuerto internacional Playa de Oro.

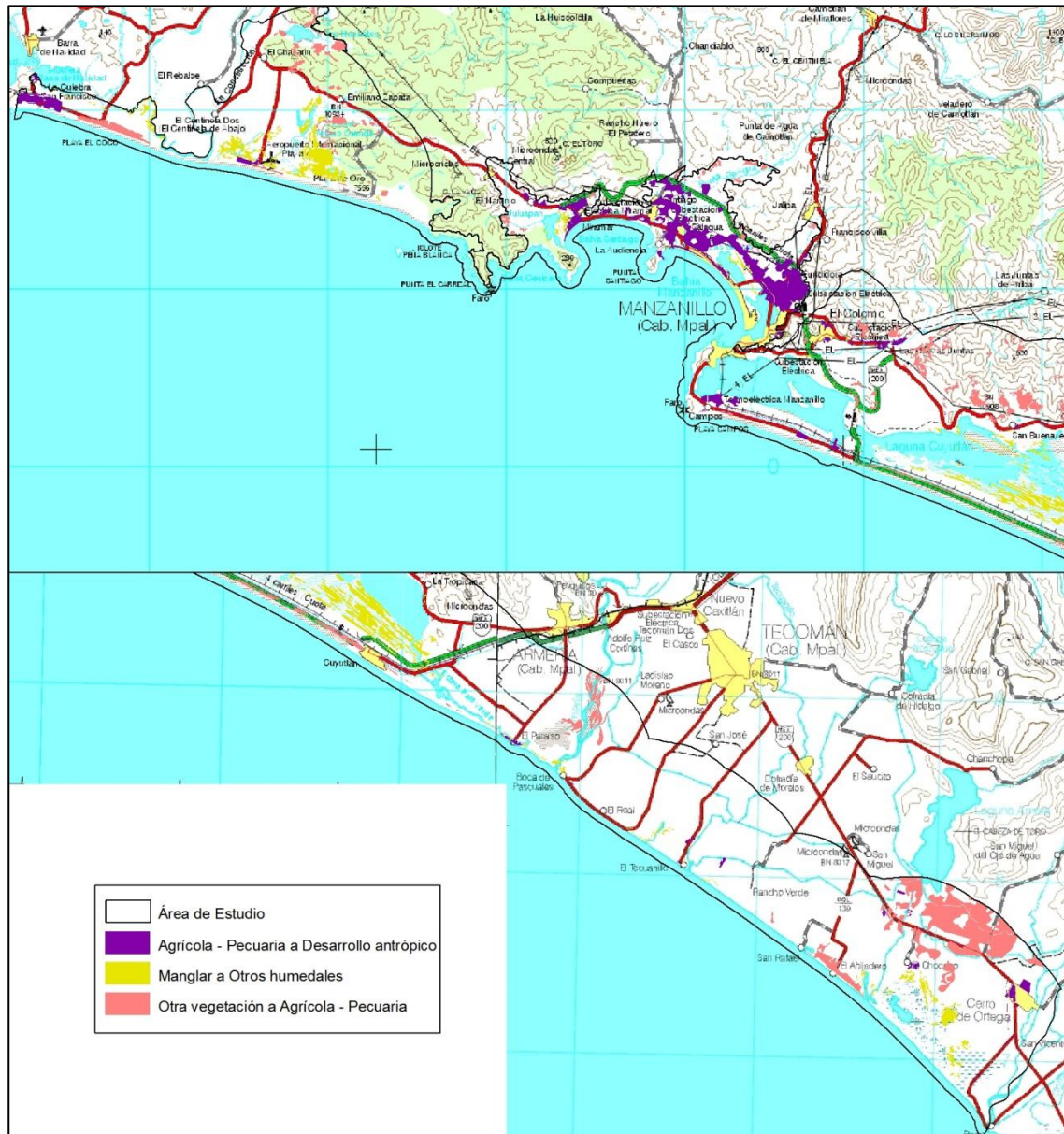


Figura 3.94. Manzanillo y Tecomán, Colima. Cambios de cobertura con mayor superficie en el área de estudio en el periodo 1971 – 2005.

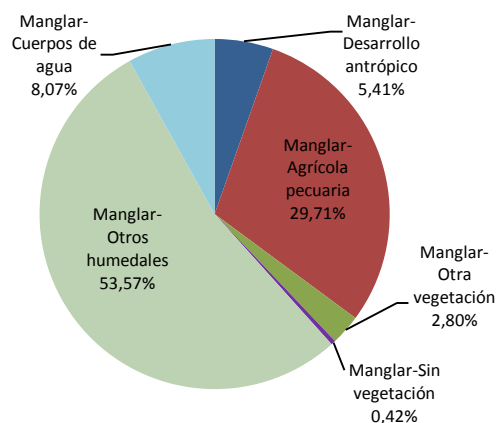


Figura 3.95. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Colima durante el periodo 1971 – 2005.

Los datos muestran una dinámica de intensificación en el uso de los recursos naturales de la región de estudio, causados por un rápido desarrollo económico en el área a partir de mediados del siglo pasado. El crecimiento en infraestructura (tasa de cambio de 3.23% anual, la más alta de todas las clases, ver Tabla 3.76) a expensas de áreas agrícolas y pecuarias, posiblemente llevó al desmonte de otras zonas para sustituirlas. El impacto sobre el ecosistema de manglar ha sido notorio al verificarse una reducción al año 2005 de más de la mitad de la superficie original estimada en la Fecha 1, a pesar de una recuperación de 649.5 ha, principalmente de manglares que colonizaron áreas de *Otros humedales* (Tabla 3.76).

La sustitución de manglares se ha verificado tanto de forma directa como indirecta, en el primer caso se tuvo la sustitución de manglar por zonas de tipo *Agrícola-pecuaria* y *Desarrollo antrópico* (1.45% y 0.26% de posibilidad de cambio, Tabla 3.77). En el segundo caso, el paso de *Manglar* a *Otros humedales* (probabilidad de cambio de 2.61%) que de hecho representó la mayor parte de los cambios en esta clase. La importancia de los efectos indirectos en los ecosistemas de manglar ya ha sido descrita por algunos investigadores (Kennish 2001) y se sabe que pueden ser tan graves como las intervenciones directas. En este rubro se inscriben los efectos de contaminantes, residuos orgánicos que pueden propiciar procesos de eutrofización en cuerpos de agua y la modificación en los patrones de mareas inducidos por estructuras tales como apertura o cierre de canales, redes de zanjas o actividades como dragados o vertido de despojos.

Mención particular merece el caso de la zona de manglar en laguna de Cuyutlán (Figura 3.96) al sureste de Manzanillo, que ha sido identificado como sitio prioritario de manglar (Silva-Batiz *et al.* 2009) y que representa el sitio de manglar más extenso en la región Pacífico Centro, en donde se identificaron cambios en la cobertura de *Manglar* a *Otros humedales* en 1,187 ha, lo que representa una pérdida del 59.11% del área de manglar en esta zona en particular y el 44.9% del total de zonas de manglar que cambiaron a esta categoría durante el periodo de estudio. Como se mencionó anteriormente, esto indica una degradación en las condiciones que favorecen el establecimiento del manglar, producto de la intensificación de las actividades humanas, además de la eliminación directa de las comunidades de mangle. De acuerdo con información recabada por SAGARPA en 2004, la laguna ya presentaba fuertes problemas por contaminación, principalmente debida a las actividades de la industria eléctrica y petrolera, además de presentar una fuerte alteración en su ciclo hidrológico, producto de la desviación de sus afluentes, lo que lleva a que sólo reciba agua dulce durante el periodo de lluvias (SAGARPA 2004).

Tabla 3.76. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Colima (1971-2005).

Mapa 1971										
	Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	1,209.8	1,977.8	840.7	163.0	213.4	0.0	360.2	85.9	4,850.8
	2.- Agrícola - Pecuaria	140.4	31,009.9	3,807.1	200.5	1,172.1	0.0	1,247.9	84.9	37,662.8
	3.- Otra vegetación	41.5	1,132.1	13,578.6	264.9	110.6	0.0	52.9	24.4	15,205.0
	4.- Sin vegetación	5.2	34.2	36.1	680.8	16.7	0.0	15.1	18.0	806.1
	5.- Manglar	36.5	118.9	9.2	15.2	2,644.2	0.0	317.5	152.2	3,293.7
	6.- Manglar perturbado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	7.- Otros humedales	230.9	177.4	44.2	166.9	2,113.2	0.0	3,145.8	303.2	6,181.6
	8.- Cuerpos de agua	10.1	54.5	26.7	421.9	318.5	0.0	393.6	11,740.5	12,965.8
	Total 1971	1,674.4	34,504.8	18,342.6	1,913.2	6,588.7	0.0	5,533.0	12,409.1	80,965.8
	EL %	72.25	89.87	74.03	35.58	40.13	n.a	56.86	94.61	
	ER %	189.70	9.15	-17.11	-57.87	-50.01	n.a	11.72	4.49	

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9, la cual podría presentar sobreposición en ambas fechas. Cartografía digital relacionada: COL_CC_ccl.shp y COL_CM_ccl.shp.

Tabla 3.77. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Colima (1971-2005).

		Mapa 1971								
Clase		1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	1.49	2.44	1.04	0.20	0.26	0.00	0.44	0.11	5.98
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.17	38.30	4.70	0.25	1.45	0.00	1.54	0.10	46.51
	3.- Otra vegetación	0.05	1.40	16.77	0.33	0.14	0.00	0.07	0.03	18.79
	4.- Sin vegetación	0.01	0.04	0.04	0.84	0.02	0.00	0.02	0.02	0.99
	5.- Manglar	0.05	0.15	0.01	0.02	3.27	0.00	0.39	0.19	4.08
	6.- Manglar perturbado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7.- Otros humedales	0.29	0.22	0.05	0.21	2.61	0.00	3.89	0.37	7.64
	8.- Cuerpos de agua	0.01	0.07	0.03	0.52	0.39	0.00	0.49	14.50	16.01
Total 1971		2.07	42.62	22.64	2.37	8.14	0.00	6.84	15.32	100.00

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Patrones e índices espaciales

En la Tabla 3.78 se muestran los resultados del cálculo de los diferentes índices aplicados a la distribución de manglares en el estado de Colima entre 1971 y 2005. En la misma se observa que el área de manglar se redujo en 3,295 ha y que el número de parches en la Fecha 2 es menor que en la Fecha 1; este patrón al igual que el encontrado en el estado de Jalisco es opuesto a lo que se esperaría, por lo que la reducción de parches en la Fecha 2 puede ser causa de una pérdida total de los parches de manglar encontrados en la Fecha 1 y no estar relacionada directamente con el concepto de fragmentación de los mismos.

Tabla 3.78. Resultados del cálculo de índices de la clase manglar en el estado de Colima.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM(%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	IF	IIC
F1	6,589	166	20.47	39.69	0.27	0.51	0.85	46.7	0.022
F2	3,294	122	38.49	26.99	0.28	0.57	0.74	36.5	0.013

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; **NP:** Número de Parches; **IPM:** Índice de Parche Mayor; **AP:** Área promedio de los parches; **IA_L:** Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; **IA_S:** Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; **R_c:** Dispersión de parches; **IF:** Índice de fragmentación; **IIC:** Índice Integral de conectividad.

En negrillas se muestra el valor más alto.

La dominancia del parche de manglar con mayor superficie (38.5) es más alta en 2005 que en 1971 (20.5). Este incremento se explica principalmente por la reducción del área total de manglar en 2005 (3,294 ha), más que por una mayor superficie del parche más grande. Este incremento también nos indica que a pesar de la reducción de superficie de manglar, estos parches aún tienen capacidad de apoyar funciones ecológicas importantes.

La disminución del área total y número de parches de manglar fue acompañada con la reducción del área promedio de los parches (Tabla 3.78). El valor de diferencia para el AP entre las dos fechas fue de 13 ha y estadísticamente es significativo ($p = 0.040$; $Z = 2.056$).

Aproximadamente el 70% de los parches estimados en este análisis presentan un tamaño entre 1 a 10 hectáreas en las dos fechas. Aunque 90% de los fragmentos se encuentran fuertemente sesgados a un tamaño menor a 70 hectáreas para la Fecha 1, y de 45 ha para la Fecha 2. En contraste, sólo 14 (Fecha 1) y 6 (Fecha 2) parches fueron determinados con superficies mayores a 100 ha (Figura 3.97). En esta categoría sobresale un parche mayor a 1,400 ha en la Fecha 1 y mayor a 1,200 ha, detectado como el parche de mayor importancia para la conectividad en ambas fechas.

Los índices de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas y superficie de clases antrópicas adyacentes, muestra valores muy similares para ambas fechas, con incrementos para ambas en la Fecha 2 (1.81 y 6.18, respectivamente). Si este nivel de amenaza llevó a la reducción de la mitad de la superficie de manglar entre las fechas 1 y 2, se esperaría que, en un marco de condiciones similares (condiciones sociales y de desarrollo económico), podría verificarse en el futuro una reducción en las zonas de distribución de estos ecosistemas a un ritmo similar al estimado en este trabajo.

El valor de dispersión de parches (R_c) indica que los parches de manglar para ambas fechas ($R_c < 1$), presentaron una distribución de parches agregados en el área de estudio. Para el índice de fragmentación (IF) el menor valor presentado en la Fecha 2 (0.013) en relación con la Fecha 1 (0.022) indica que existe un proceso de fragmentación en los parches que permanecieron para la Fecha 2 y reflejan un cambio significativo en la estructura del ecosistema de manglar. Estos procesos de degradación se deben

principalmente al desarrollo antrópico (expansión urbana) y en menor grado al cambio de uso del suelo para actividades agrícolas (ver sección de análisis de detección de cambios).

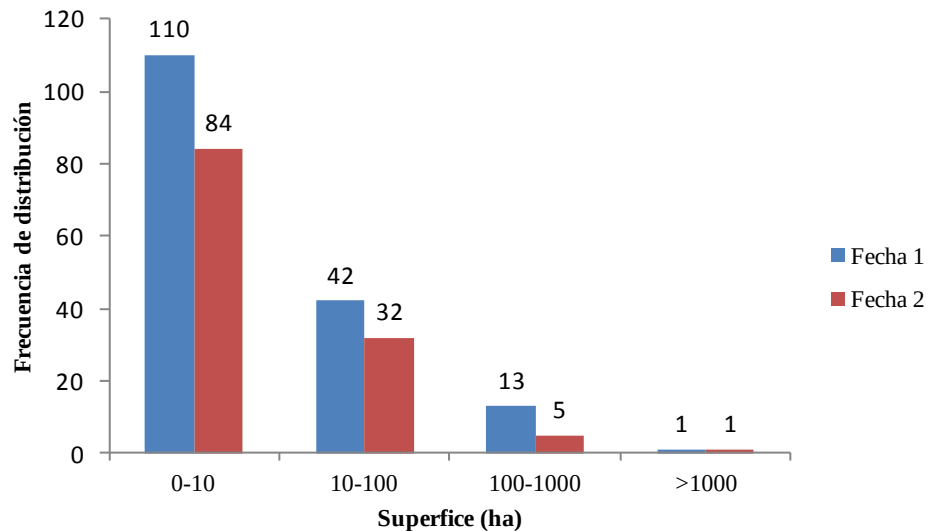


Figura 3.97. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Colima.

De los 166 parches de manglar observados en la Fecha 1 en el estado de Colima cinco de ellos (en total 3,092 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) *Alto* y *Muy Alto*, mientras que en la Fecha 2, de los 122 parches de manglar presentes en esa fecha, ya sólo uno de ellos (1,227 ha) se logró identificar con valor de IIC relevante (Muy alto) (Figura 3.98 y Mapas 25 y 26 del Anexo 2).

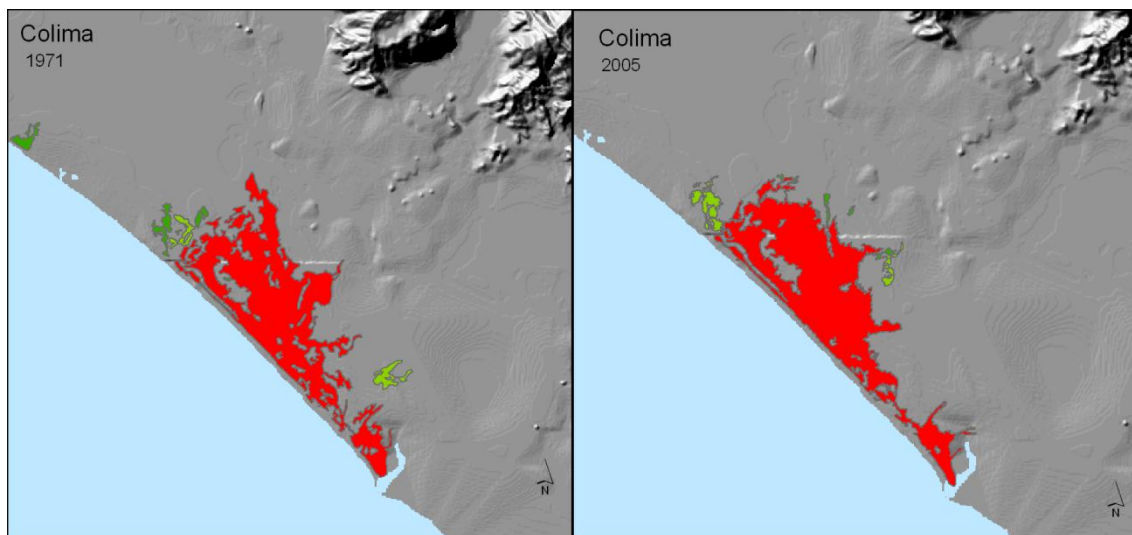


Figura 3.98. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Colima.

Simbología: Rojo = Muy alto, Naranja = Alto, Amarillo = Medio, Verde claro = Bajo y Verde oscuro = Muy bajo, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua

La superficie del parche con valor más alto de IIC para la Fecha 1 fue de 1,478 ha, mientras que para la Fecha 2, la superficie del parche con valor más alto de IIC fue de 1,227 ha y se encuentra ubicado en las cercanías del poblado Cerro de Ortega (Figura 3.99). En este caso se registró una disminución de 251 ha

de la superficie total de manglar del parche con mayor valor de IIC, las modificaciones se dieron prácticamente en toda la parte este del parche. Aunado a esto, el total de la superficie de manglar con un valor Muy alto o Alto de IIC en general disminuyó 1,865 ha; lo que sugiere la baja aplicación de medidas adecuadas para la conservación y rehabilitación del ecosistema de manglar en el estado.

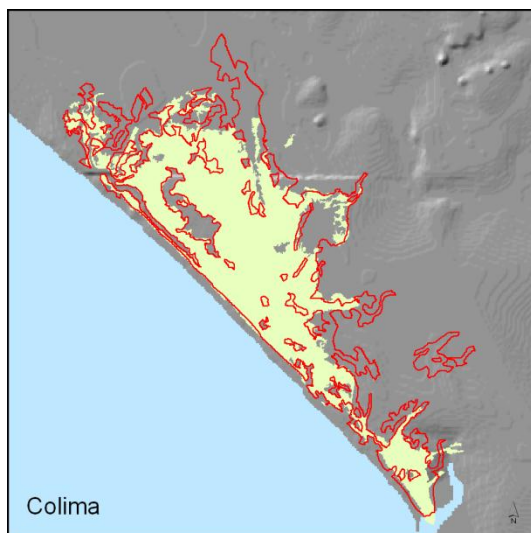


Figura 3.99. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Colima

Simbología: Contorno rojo = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1, Verde = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 2, Gris: Porción terrestre, Azul = Agua.

Michoacán

Validación mapa 2005

La evaluación de la exactitud del mapa de uso del suelo y vegetación del 2005 de Michoacán se obtuvo a partir de 78 fotografías aéreas digitales de alta resolución más 117 puntos muestreados por otras instituciones (ver sección de materiales y métodos). La exactitud global del mapa de uso del suelo y vegetación para el mapa Fecha 2 de Michoacán fue de 84.67% (Tabla 3.79) con un coeficiente de Kappa de 0.71. Sin embargo, al calcular la exactitud con la matriz ponderada con relación a los puntos de muestreo por clase y a la superficie de cada clase en el mapa, para evitar el sesgo provocado por el tipo de muestreo seleccionado, la exactitud global estimada disminuyó a 85.28% (Tabla 3.80) y el índice de Kappa disminuyó a 0.59.

Tabla 3.79. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Michoacán.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	102	1	0	0	103	0.97
	3.- Otra vegetación	8	5	1	0	14	64.29
	5.- Manglar	2	0	10	1	13	23.08
	7.- Otros humedales	0	0	2	2	4	50.00
	Total	112	6	13	3	134	Exactitud Global %
	Error de Omisión %	8.93	16.67	23.08	33.33		88.81
	Exactitud Productor %	91.07	83.33	76.92	66.67		
	^K	0.71					

Tabla 3.80. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Michoacán, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	73.72	0.72	0.00	0.00	74.44	0.97
	3.- Otra vegetación	10.10	6.31	1.26	0.00	17.68	64.29
	5.- Manglar	0.75	0.00	3.75	0.37	4.87	23.08
	7.- Otros humedales	0.00	0.00	1.51	1.51	3.01	50.00
	Total	84.57	7.04	6.51	1.88	100	Exactitud Global %
	Error de Omisión %	12.83	10.27	42.50	19.93		85.28
	Exactitud Productor %	87.17	89.73	57.50	80.07		
	^K	0.59					

La exactitud del productor para la clase *Manglar* es de apenas 57.5%, presentando omisiones asociadas a las clases *Otros humedales* y *Agrícola-pecuario*. La clase *Agrícola-pecuario* presenta un porcentaje de exactitud alto tanto en usuario como productor del 95.83 y 91.15% respectivamente. Sin embargo, para el caso de *Otros humedales* la muestra de tan sólo 3 puntos no es suficiente para obtener una validación correcta de la categoría *Otros humedales*. Por otro lado, la clase *Otra vegetación* presenta valores bajos de exactitud de usuario (35.71%) debido a confusiones importantes con *Agrícola-pecuario*. Estas confusiones se presentaron en Michoacán debido a la alta incidencia de uso pecuario, en donde las parcelas no están delimitadas sino que el ganado se distribuye libremente, causando un efecto de deterioro progresivo en casi toda la zona de estudio. A esto se le suma que la vegetación dominante de la costa de Michoacán es

selva baja caducifolia, que en época de sequía pierde casi todo su follaje dificultando así la interpretación de imágenes que corresponden a esta época.

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para 1974 (Fecha 1) y 2005 (Fecha 2) de Michoacán, estos se presentan en la Figura 3.100 y en la Tabla 3.81, así como en el Anexo 1, Mapas 53 al 56.

Para el estado de Michoacán, el área de estudio es de 45,217 ha, que representa el 0.53% del total nacional. La cobertura dominante para los años inicial y final fue *Agrícola-pecuaria* con una superficie de 46.52% (mapa Fecha 1) y 52.14% (mapa Fecha 2).

Para el mapa inicial la segunda cobertura dominante es la categoría *Otra vegetación* (26.26%) y la tercera es el *Manglar* (3.96%) que se encuentra ligeramente por encima de la clase *Desarrollo antrópico* (3.75%). Estas dominancias cambian para el mapa de 2005, en el cual podemos apreciar que la segunda mayor cobertura es la de *Desarrollo antrópico* (13.56%) lo cual significa una ganancia neta de 4,433 ha para esta categoría y un crecimiento de 261.38% en éste periodo de análisis, así como una tasa de transformación (r) de 4.33 que llega a ser la más alta encontrada para el área de estudio. La clase de *Manglar* tuvo una tasa de transformación de -0.35%.

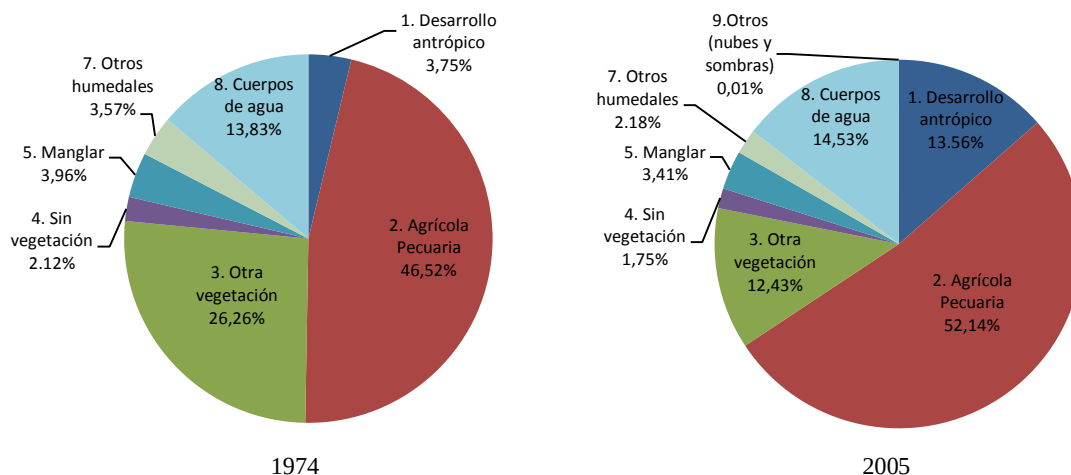


Figura 3.100. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Michoacán en 1974 y 2005.

Realizando un análisis más localizado del crecimiento detectado para la categoría de *Desarrollo antrópico* en la matriz de cambios (Tabla 3.82) se observa que las categorías más afectadas por este crecimiento fueron la *Agrícola-pecuaria* y *Otra vegetación*, las cuales perdieron 2,800 ha y 1,146 ha respectivamente. En la Figura 3.101 se muestra el crecimiento localizado de la categoría *Desarrollo antrópico* en el sector del Puerto de Lázaro Cárdenas, colindante con el estado de Guerrero.

Considerando toda el área de estudio, en la zona urbana de Lázaro Cárdenas se observaron los mayores cambios debido al crecimiento de población. Un estudio realizado por Matthews (2008) determinó un índice de modificación edafo-biógena a nivel de paisajes de la costa michoacana y señala que el territorio se encuentra en adecuado estado de conservación y coincide con lo observado en este estudio, en que una de las áreas más modificadas se encuentra en el centro urbano de Lázaro Cárdenas.

En 1971, se inicia la construcción de la Planta Siderúrgica Lázaro Cárdenas (SICARTSA) y en 1974, la construcción del Puerto de Lázaro Cárdenas, con ello se produce cambios importantes en la región. Este hecho origina que a partir de la década de 1970 el registro de población muestre un vertiginoso crecimiento (SUMA 2003).

Tabla 3.81. Extensión del uso del suelo y vegetación en Michoacán (1974-2005).

Clase	1974		2005		+/- Netas	r (%)
	ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	1,696.5	3.75	6,129.4	13.56	4,432.9	4.33
2.- Agrícola - Pecuaria	21,033.9	46.52	23,576.4	52.14	2,542.5	0.35
3.- Otra vegetación	11,873.1	26.26	5,621.2	12.43	-6,251.9	-2.24
4.- Sin vegetación	956.9	2.12	790.6	1.75	-166.3	-0.61
5.- Manglar	1,788.5	3.96	1,543.0	3.41	-245.5	-0.35
6.- Manglar perturbado	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	n.a.
7.- Otros humedales	1,613.5	3.57	984.2	2.18	-629.3	-1.51
8.- Cuerpos de agua	6,254.8	13.83	6,569.6	14.53	314.8	0.19
9.-Otros (nubes y sombras)	0.0	0.00	2.8	0.01	n.a.	n.a.
Total	45,217.2	100.01	45,217.2	100.01		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

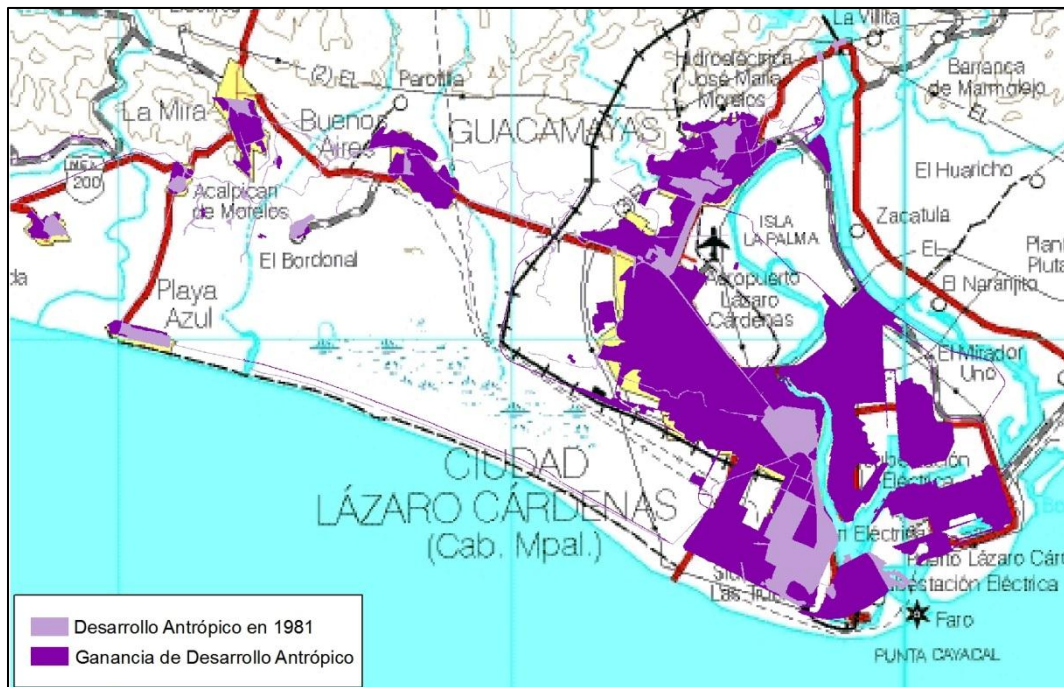


Figura 3.101. Puerto Lázaro Cárdenas, Michoacán. Crecimiento de la clase desarrollo antrópico, en el periodo 1974- 2005

En este sector de Lázaro Cárdenas se encuentra el polígono de manglar de mayor dimensión del estado de Michoacán y aunque el crecimiento de la clase *Desarrollo antrópico* no afectó principalmente a las áreas de *Manglar*, en aquellas zonas en las que hubo pérdida de ésta cobertura, se debió principalmente a las clases *Agrícola-pecuaria* y *Desarrollo antrópico*, ambas con un 28.62% (Figura 3.102).

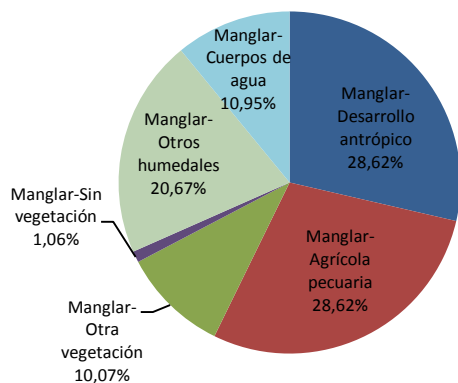


Figura 3.102. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Michoacán durante el periodo 1974 – 2005.

Otra área en el estado de Michoacán que presenta pérdidas importantes de manglar se encuentra en el municipio de Coahuayana de Hidalgo, el cual colinda con el estado de Colima (Figura 3.103). Aunque se observa un crecimiento moderado de los centros urbanos en este sector, la mayor amenaza a los manglares y humedales en general es la expansión de la frontera agrícola y la utilización de las fuentes de agua dulce que hacen que poco a poco exista un déficit de agua en los humedales.



Figura 3.103. Coahuayana de Hidalgo, Michoacán. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1974 - 2005

Como una observación general, la costa michoacana no presenta una densidad de población muy elevada (6% respecto al total estatal) y el avance paulatino de las actividades agropecuarias se concentraron básicamente en la selva baja caducifolia y en algunas planicies costeras (SUMA 2003).

Los resultados obtenidos de la Estabilidad de Localización (EL), (Tabla 3.82), muestra que la cobertura natural de áreas terrestres que presenta mayor porcentaje fue la de *Manglar* con 68.38%. Sin embargo en el cálculo de la Estabilidad de Residencia (ER) la cobertura de *Desarrollo antrópico* obtuvo una razón de cambio de 261.3%. La clase que presentó el índice más bajo de la EL fue la cobertura *Otra vegetación* (35.02%), indicando de esta manera su mayor susceptibilidad a transformarse a usos agropecuarios, lo cual es reforzado con la obtención de la ER más baja encontrada (-52.64%).

En la matriz de la probabilidad de cambio (Tabla 3.83) se observa la tendencia de cambio de *Otra vegetación*, la cual se transforma a la categoría *Agrícola-pecuaria*. La segunda tendencia de cambio es en las áreas agrícolas y pecuarias, es decir pérdidas de esta cobertura hacia *Desarrollo antrópico*.

La disminución de los manglares fue en total 246 ha, lo que representa un 13.75% de la cobertura original de la Fecha 1, con lo cual se calculó una tasa ponderada de deforestación anual del -0.35%. Esto indica que es un ecosistema que presenta amenazas de conservación y que paulatinamente se va restringiendo su distribución espacial en la zona de estudio. Recientemente las autoridades estatales emprendieron algunos esfuerzos por conservar los polígonos de manglar más extensos y representativos del estado mediante leyes y proyectos de uso sostenible que ayudarán en cierta medida a preservar estas áreas. Es así que los manglares cercanos al centro urbano de Lázaro Cárdenas fueron incluidos como Sitio Ramsar en el listado nacional (Ramsar 2005b).

Tabla 3.82. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Michoacán (1974-2005).

Mapa 1974										
Clase		1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	1,418.7	3,016.3	1,188.4	52.2	161.6	0.0	170.4	121.8	6,129.4
	2.- Agrícola - Pecuaria	216.0	16,337.8	6,232.2	50.9	161.9	0.0	440.2	137.4	23,576.4
	3.- Otra vegetación	41.7	1,103.8	4,156.5	75.7	56.5	0.0	127.9	59.1	5,621.2
	4.- Sin vegetación	3.0	62.7	92.6	601.0	6.1	0.0	9.7	15.5	790.6
	5.- Manglar	2.1	85.3	24.5	0.6	1,223.0	0.0	176.2	31.3	1,543.0
	6.- Manglar perturbado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	7.- Otros humedales	1.6	180.4	45.8	3.7	117.2	0.0	574.2	61.3	984.2
	8.- Cuerpos de agua	13.4	247.6	130.3	172.8	62.2	0.0	114.9	5,828.4	6,569.6
Total 1974		1,696.5	21,033.9	11,870.3	956.9	1,788.5	0.0	1,613.5	6,254.8	45,214.4
EL %		83.63	77.67	35.02	62.81	68.38	n.a.	35.59	93.18	
ER %		261.30	12.09	-52.64	-17.38	-13.73	n.a.	-39.00	5.03	

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9, la cual podría presentar sobreposición en ambas fechas. Cartografía digital relacionada: MIC_CC_ccl.shp y MIC_CM_ccl.shp.

Tabla 3.83. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Michoacán (1974-2005)

Tabla 5.55: Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Michoacán (1974-2005)										
		Mapa 1974								
Clase		1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	3.14	6.67	2.63	0.12	0.36	0.00	0.38	0.27	13.57
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.48	36.13	13.78	0.11	0.36	0.00	0.97	0.30	52.13
	3.- Otra vegetación	0.09	2.44	9.19	0.17	0.12	0.00	0.28	0.13	12.42
	4.- Sin vegetación	0.01	0.14	0.20	1.33	0.01	0.00	0.02	0.03	1.74
	5.- Manglar	0.00	0.19	0.05	0.00	2.70	0.00	0.39	0.07	3.40
	6.- Manglar perturbado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7.- Otros humedales	0.00	0.40	0.10	0.01	0.26	0.00	1.27	0.14	2.18
	8.- Cuerpos de agua	0.03	0.55	0.29	0.38	0.14	0.00	0.25	12.89	14.53
Total 1974		3.75	46.52	26.24	2.12	3.95	0.00	3.56	13.83	99.97

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Patrones e índices espaciales

La Tabla 3.84 muestra los resultados del cálculo de los diferentes índices aplicados a la distribución de manglares en el estado de Michoacán para el periodo 1974-2005. Se puede observar que el área de manglar se redujo en 245 ha de 1974 a 2005 y que el número de parches en la Fecha 2 es menor que en la Fecha 1; este patrón al igual que en los otros 2 estados de la región de Pacífico Centro (Jalisco y Colima) es opuesto a lo que se esperaría en términos generales, ya que se asume que a mayor fragmentación existirá un mayor número de parches. Sin embargo debido a las características geográficas de la costa de Michoacán, así como de toda la región del Pacífico Centro, la reducción de parches en la Fecha 2 puede ser causa de una pérdida total de los parches de manglar existente en la Fecha 1.

Tabla 3.84. Atributos e índices de la clase manglar en el estado de Michoacán.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM (%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	IF	IIC
F1	1,788	75	50.86	23.85	0.44	0.61	1.09	21.97	0.021
F2	1,543	71	52.51	21.73	0.41	0.75	1.24	17.53	0.018

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; NP: Número de Parches; IPM: Índice de Parche Mayor; AP: Área promedio de los parches; IA_L: Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; IA_S: Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; R_c: Dispersión de parches; IF: Índice de fragmentación; IIC: Índice Integral de conectividad.

En negrillas se muestra el valor más alto.

El valor más alto obtenido para el índice de parche mayor se encuentra en la Fecha 2 con 52.5 contra 50.9 para la Fecha 1. Este incremento en el valor del índice nos indica que la cobertura de manglar está mejorando la capacidad de apoyar funciones ecológicas importantes relacionadas con las coberturas naturales.

La disminución del área total y del número de parches de manglar fueron acompañados con una pequeña reducción del área promedio de los parches (Tabla 3.84). El valor de diferencia para el AP entre las dos fechas fue de 2.1 ha y esta diferencia es estadísticamente no significativa ($p = 0.059$; $Z = 1.887$).

Aproximadamente el 83% de los parches estimados en este análisis presentan un tamaño entre 1 a 10 hectáreas en las dos fechas. Aunque 90% de los fragmentos se encuentran fuertemente sesgados a un tamaño menor a 23 hectáreas para la Fecha 1, y de 15 ha para la Fecha 2. En contraste, sólo 3 (Fecha 1) y 2 (Fecha 2) parches fueron determinados con superficies mayores a 100 ha (Figura 3.104). En esta categoría sobresale un parche mayor a 900 ha en la Fecha 1 localizado entre el puerto Lázaro Cárdenas y la población Playa Azul. En la Fecha 2 este mismo parche ocupa la mayor extensión de manglar del estado con una extensión mayor a 800 ha. La reducción en superficie se produjo principalmente por efectos del crecimiento urbano lo que resultó en una fragmentación del parche.

Para esta región se presenta una disminución de Fecha 1 a Fecha 2 en el índice de amenaza por longitud de 0.03 y un aumento en el Índice de amenaza por superficie de 0.14 en las mismas fechas. Aunque los valores arrojados por estos índices marcan una clara reducción de la superficie de este ecosistema, parece ser que para este estado en particular las clases antrópicas no han tenido mucho avance sobre el manglar, prueba de ello es la poca fragmentación y las pocas hectáreas de manglar que se han perdido en este periodo de tiempo (245.4 ha). Se debe de considerar en futuros análisis el aumento de las clases antrópicas adyacentes, ya que es muy significativo y esto puede presentar nuevas amenazas para la permanencia del ecosistema.

La dispersión de parches (R_c) presenta para ambas fechas un valor menor a uno lo que nos indica que los parches de manglar presentan una distribución agregada en el área de estudio. Con relación al índice de

fragmentación (IF) se encontró que en la Fecha 2 (36.5) existió mayor fragmentación con relación a la Fecha 1 (46.6). Como se mencionó en la sección anterior (Detección de cambios) estos procesos de degradación se deben principalmente al desarrollo antrópico (expansión urbana) y en menor grado al cambio de uso del suelo para actividades agrícolas.

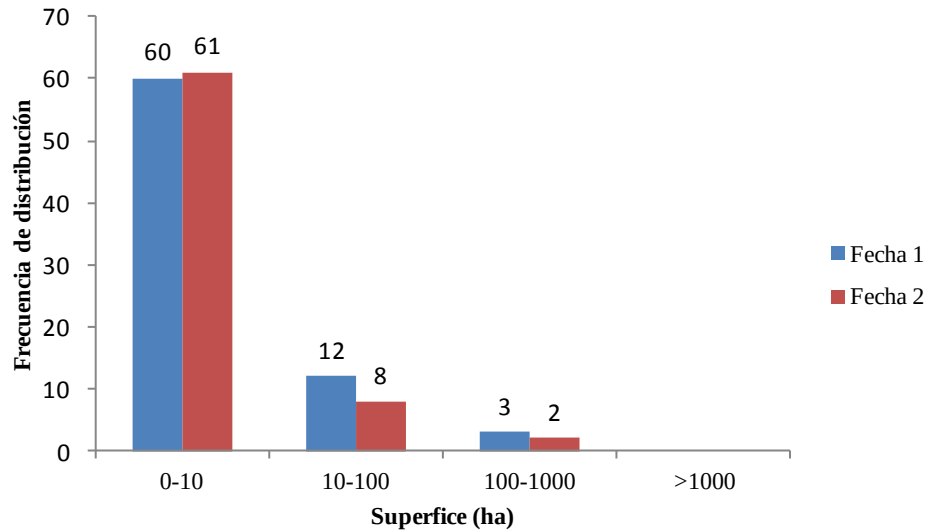


Figura 3.104. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Michoacán.

De los 75 parches de manglar observados en la Fecha 1 en el estado de Michoacán dos de ellos (en total 1,062 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) *Alto* y *Muy Alto*, en la Fecha 2, de los 71 parches de manglar presentes en esa fecha, se lograron identificar también dos parches (en total 1,158 ha) con valor de IIC relevante (*Muy alto* o *Alto*) (Figura 3.105 y Mapas 27 y 28 del Anexo 2).

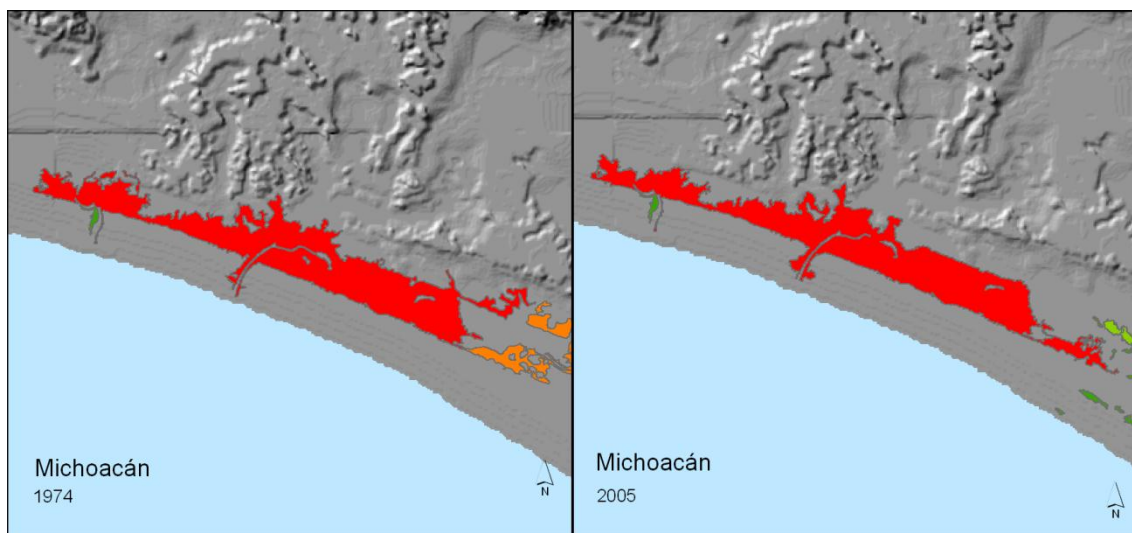


Figura 3.105 Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis, en el estado de Michoacán.

Simbología: Rojo = Muy alto, Naranja = Alto, Amarillo = Medio, Verde claro = Bajo y Verde oscuro = Muy bajo, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua

La superficie del parche con valor más alto de IIC para la Fecha 1 fue de 911 ha, mientras que para la Fecha 2, la superficie del parche con valor más alto de IIC fue de 857 ha y se ubica en la inmediaciones de Playa Azul (Figura 3.106). En este caso se registró una disminución de 54 ha de la superficie total de manglar del parche con mayor valor de IIC, lo cual sugiere posibles procesos de deforestación, para conversión a suelos agrícola-pecuarios principalmente en la parte central y sur del parche, que deberían ser atendidos en el corto plazo, para evitar un mayor deterioro de esta área disminuyendo con ello la reducción en la conectividad del sistema.

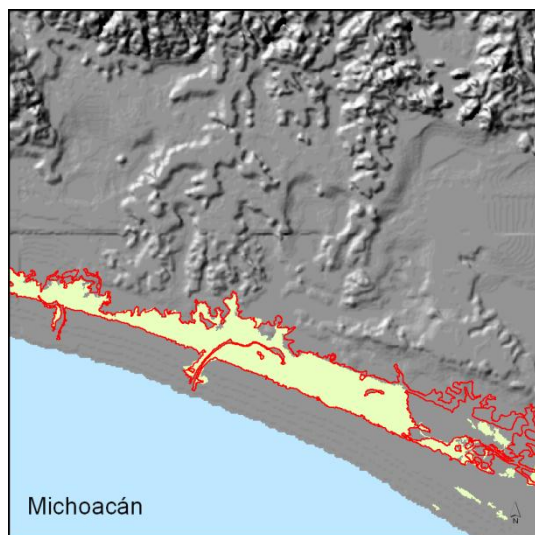


Figura 3.106. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Michoacán.

Simbología: Contorno rojo = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1, Verde = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 2, Gris: Porción terrestre, Azul = Agua.

Guerrero

Validación mapa 2005

Para obtener la validación del estado de Guerrero se utilizaron 510 puntos de validación utilizando fotografías aéreas de alta resolución, además de 173 puntos obtenidos con los trabajos de campo de otras instituciones (ver sección de materiales y métodos) de los cuales se presenta la evaluación de 521 correspondientes a las cuatro clases evaluadas. De estos datos se obtuvo la exactitud global para el mapa de uso del suelo y vegetación del estado de Guerrero de 68.14% y un índice de Kappa de 0.60 (Tabla 3.85). Al ponderar la validación con la superficie ocupada por cada clase a fin de evitar el sesgo que se obtiene por el tipo de muestreo seleccionado, la exactitud global disminuye ligeramente a 67.86% (Tabla 3.86) con disminuciones importantes en la exactitud del productor en las clases *Manglar* y *Otros humedales* mientras que el índice de Kappa disminuye a 0.45.

Tabla 3.85. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Guerrero.

Güereño.								
Datos de referencia						Error de Comisión %	Exactitud Usuario %	
	2.- Agrícola- Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total			
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	158	14	15	17	204	22.55	77.45
	3.- Otra vegetación	35	53	9	8	105	49.52	50.48
	5.- Manglar	8	8	98	9	123	20.33	79.67
	7.- Otros humedales	17	8	18	46	89	48.31	51.69
	Total	218	83	140	80	521	Exactitud Global %	
Error de Omisión %		27.52	36.14	30.00	42.50	68.14		
Exactitud Productor %		72.48	63.86	70.00	57.50			
^K		0.60						

Tabla 3.86. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Guerrero, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

Suavizado, ponderado con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.								
		Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
		2.- Agrícola- Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	46.50	4.12	4.41	5.00	60.03	22.55	77.45
	3.- Otra vegetación	9.77	14.79	2.51	2.23	29.31	49.52	50.48
	5.- Manglar	0.25	0.25	3.01	0.28	3.77	20.33	79.67
	7.- Otros humedales	1.32	0.62	1.39	3.56	6.89	48.31	51.69
	Total	57.83	19.78	11.33	11.07	100	Exactitud Global %	
Error de Omisión %		19.59	25.20	73.45	67.85	67.86		
Exactitud Productor %		80.41	74.80	26.55	32.15			
^K		0.45						

De acuerdo con la proporcionalidad de las áreas del mapa de uso del suelo y vegetación del estado de Guerrero, el manglar con tan sólo el 3.78% de la superficie, tiene el 23% de los puntos muestreados lo que provoca que se disminuya el peso que tienen los puntos para esa clase, dejando la clase *Manglar* con el 26.55% de exactitud de productor, cuando el 79% de los puntos de validación están correctamente clasificados. En el caso de la clase *Otros humedales*, estos se clasifican erróneamente en más del 67% de los puntos validados, asignados a las clases de áreas *Agrícolas-pecuarias* y *Otra vegetación* principalmente. La áreas de *Otra vegetación* tienen un alto grado de confusión (error de comisión de 49.52%) con áreas que en realidad son agrícolas, este efecto puede deberse a que en el estado de Guerrero

se utilizan comúnmente el sistema de rotación de cultivos, en los que pueden usar las tierras abandonadas como áreas de pastoreo de ganado, provocando que la respuesta espectral varíe en un amplio rango desde suelos casi sin vegetación hasta la misma respuesta que las selvas bajas caducifolias que rodean estas áreas.

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para 1979 (Fecha 1) y 2005 (Fecha 2) de Guerrero, estos se presentan en la Figura 3.107 y en la Tabla 3.87, así como en el Anexo 1, Mapas 57 al 60.

Para el estado de Guerrero, el área de estudio es de 283,954 ha, que representa el 3.30% del total nacional. Este estado presentaba desde el año inicial, una distribución de clases en la que dominaban tres tipos de cobertura: *Agrícola-pecuaria*, *Otra vegetación* y *Cuerpos de agua*, que en conjunto representaban el 84.29% de la superficie total. Para el 2005 se mantiene la misma dominancia, sólo que ahora con el 86.08% de la superficie total, pese a un decremento sustantivo en la clase *Otra vegetación* (-9.23% en el área total), que se vio compensado por un incremento en las zonas *Agrícola-pecuaria* y *Cuerpos de agua* (10.03% y 0.99% respectivamente con respecto al área total).

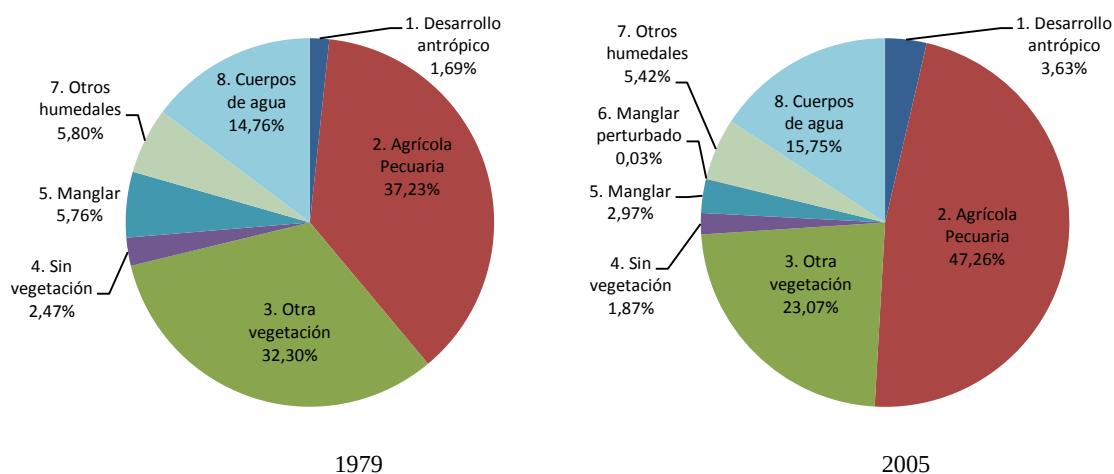


Figura 3.107. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Guerrero en 1979 y 2005.

En total 84,514 ha presentaron algún tipo de cambio de categoría en la región de estudio, esto representa un 30% de la superficie total. De este volumen de cambios destacan por la cantidad total de superficie involucrada los cambios de la clase *Otra vegetación* a *Agrícola-pecuaria* (43.59% del total de área que cambio de categoría) y *Manglar* a *Agrícola-pecuaria* (4.86% del total de área de cambios).

Observando las tasas de transformación obtenidas en la Tabla 3.87, tenemos que las clases que experimentaron mayor ritmo de pérdidas fueron la clase de *Manglar* (-2.55% anual) seguida de *Otra vegetación* y *Sin vegetación* (-1.40 y -1.05 respectivamente) y en menor medida *Otros humedales* (-0.29% anual). Por otra parte, la clase *Desarrollo antrópico* destacó por tener el ritmo de crecimiento más alto (2.95% anual), lo que le llevó a casi duplicar su superficie, seguido, aunque en menor medida, de las clases *Agrícola-pecuaria* (0.97% anual) y *Cuerpos de agua* (0.24% anual).

Lo anterior llevó a que la clase *Manglar* perdiera 7,913 ha, cerca de la mitad de su superficie de distribución original en el área de estudio (ER de -48.41%, Tabla 3.88). Su estabilidad de localización (EL) fue aún menor (37.10%), lo que indica que hasta el 62.9% de las áreas que en la Fecha 1 tenían esta

clase de cobertura, la perdieron, recuperándose en zonas que correspondían originalmente a *Otros humedales*, principalmente, (1,200 ha), pero no lo suficiente para superar las pérdidas. Las áreas de *Manglar*, pasaron a las clases: *Agrícola-pecuaria*, *Otros humedales* y *Otra vegetación* (40%, 28% y 18% de la superficie de cambio de la clase *Manglar*), respectivamente (Figura 3.108).

Tabla 3.87. Extensión del uso del suelo y vegetación en Guerrero (1979-2005).

Clase	1979		2005		+/- Netas	r (%)
	ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	4,795.1	1.69	10,321.4	3.63	5,526.3	3.03
2.- Agrícola - Pecuaria	105,712.5	37.23	134,197.7	47.26	28,485.2	1.01
3.- Otra vegetación	91,718.1	32.30	65,510.9	23.07	-26,207.2	-1.40
4.- Sin vegetación	7,002.2	2.47	5,303.2	1.87	-1,699.0	-1.05
5.- Manglar	16,347.7	5.76	8,434.5	2.97	-7,913.2	-2.55
6.- Manglar perturbado	0.0	0.00	82.2	0.03	82.2	n.a.
7.- Otros humedales	16,470.0	5.80	15,391.9	5.42	-1,078.1	-0.26
8.- Cuerpos de agua	41,908.4	14.76	44,712.2	15.75	2,803.8	0.25
9.-Otros (nubes y sombras)	0.0	0.00	0.0	0.00	n.a.	n.a.
Total	283,954.0	100.01	283,954.0	100.00		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

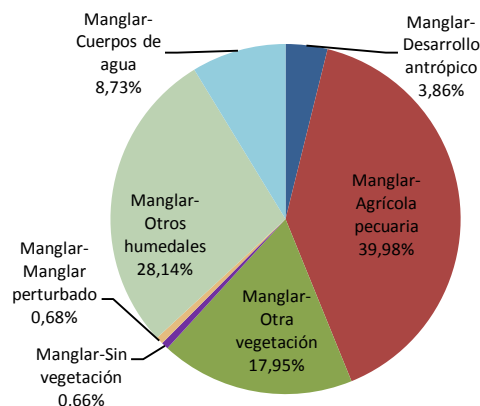


Figura 3.108. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Guerrero durante el periodo 1979 – 2005.

Las clases *Otra vegetación* y *Sin vegetación* perdieron el 28.57% y el 24.26% de su superficie de distribución respectivamente (ER), presentando también valores de EL relativamente bajos (56.36% y 43.51%), lo que implica que la pérdida de las áreas originales fue aún mayor (43.64% y 56.49%), que pasaron principalmente a las clases *Agrícola-pecuaria* y *Cuerpos de agua*, respectivamente, sin embargo, algunas áreas fueron compensadas de la clase *Agrícola-pecuaria* para el caso el caso de ambas. Esto parece indicar una activa dinámica en la apertura y el abandono de terrenos dedicados a la agricultura y el incremento de áreas inundadas.

En esta tendencia de retroceso también se encuentra la clase de *Otros humedales*, con una pérdida al final el periodo de estudio de 6.55% (ER), y con un decremento aún más acentuado con respecto a sus áreas de distribución originales de 46.34% (EL= 53.66). La diferencia en el volumen de pérdidas fue compensada principalmente por áreas de la clase *Manglar* y en menor medida por terrenos agrícolas y *Cuerpos de agua*.

En el grupo de clases que incrementaron sus áreas de distribución, el caso más destacado es el de la clase *Desarrollo antrópico*, que duplicó su área durante el periodo de estudio (ER de 115.25%), conservando la mayor parte de su superficie original (EL de 81.2%). Las zonas que se perdieron de esta clase durante el periodo de estudio, pasaron principalmente a la clase *Agrícola-pecuaria*, que precisamente también fue la más afectada por la expansión de infraestructura, junto con zonas correspondientes a la clase *Otra vegetación*.

Finalmente la clase *Agrícola-pecuaria* tuvo una expansión durante el periodo de estudio que incrementó su superficie en un 26.95% (ER), conservando hasta el 82.89% (EL) de su área original. Las áreas cedidas se fueron principalmente a las clases: *Otra vegetación* y *Desarrollo antrópico*, principalmente, y las áreas que se incorporaron correspondieron a *Otros tipos de vegetación* (79% del área ganada para esta clase) y *Manglares* (8.83% de las áreas ganadas para esta clase).

Lo descrito anteriormente sugiere una intensificación en las actividades agrícola-pecuarias de la región y la expansión de los núcleos de población en la zona durante el periodo de estudio (13% en la matriz de probabilidades de cambio, Tabla 3.89). La política de desarrollo para esta región, se ha basado en el concepto de polos de desarrollo, para el área de estudio estos han sido el puerto de Acapulco, que comenzó a establecerse como destino turístico desde la década de 1940, pero que vivió su auge de expansión entre las décadas de 1970 y 1980 (Carrascal y Pérez 1998) e Ixtapa-Zihuatanejo en el norte, que se desarrolló a partir de la primera mitad de la década de 1970 mediante un financiamiento otorgado por el Banco Mundial, que incluyó la construcción de un aeropuerto internacional. El desarrollo turístico comenzó a operar plenamente en 1978 (CESOP 2006).

En la parte norte del estado de Guerrero, la mayoría de cambios en la cubierta de *Manglar* se ubicaron entre las poblaciones de Zihuatanejo y Petatlán, correspondiendo principalmente a la sustitución de éstos por áreas *Agrícola-pecuarias*. Entre los cultivos en las planicies costeras que han sido ampliamente promovidos en el estado de Guerrero, destaca la palma de coco, que se encuentra presente a lo largo de toda la costa, particularmente para la zona de Petatlán y del municipio de José Azueta, en donde se encuentra Zihuatanejo. En el año 2002 se estimaban 4,017 ha de este cultivo (CONACOCO 2010). Este cultivo, al tener condiciones de distribución que comparten similitudes a las de manglar, suele ser una amenaza para estos (Tovilla-Hernández *et al.* 2009).

Destaca también la sustitución de una zona de 85 ha de *Manglar* sobre la que se construyó parte del desarrollo turístico de Ixtapa (Figura 3.109) y varias zonas, como la laguna de Barra de Potosí y de la Barra Valentín, en donde algunas áreas de la clase *Manglar* pasaron a la categoría de *Otros humedales*, lo que podría ser un indicativo de procesos de contaminación o de modificaciones al medio por actividades humanas.

Un patrón similar al observado anteriormente, se aprecia en las zonas de manglar presentes entre Atoyac de Álvarez y Coyuca de Benítez, donde se identificaron cambios de *Manglar* a las clases *Agrícola-pecuaria* y *Otros humedales*, principalmente (Figura 3.110). En esta zona se localiza la laguna costera de Mitla, que está considerada como uno de los sitios prioritarios de manglar (CONABIO 2009a). De acuerdo con información publicada en el Diario Oficial de la Federación (SAGARPA 2004), se han detectado problemas de eutrofización, invasión de la zona federal por asentamientos humanos, presión sobre algunas especies pesqueras de importancia y contaminación por falta de servicios básicos en las comunidades asentadas en el área circundante de la laguna. Lo mismo ocurre en la laguna de Coyuca, pero además agravado por los problemas de contaminación provenientes del río Coyuca, que transporta desechos sólidos y aguas residuales. Se reconoce por parte de SAGARPA la disminución considerable de las áreas con manglar.

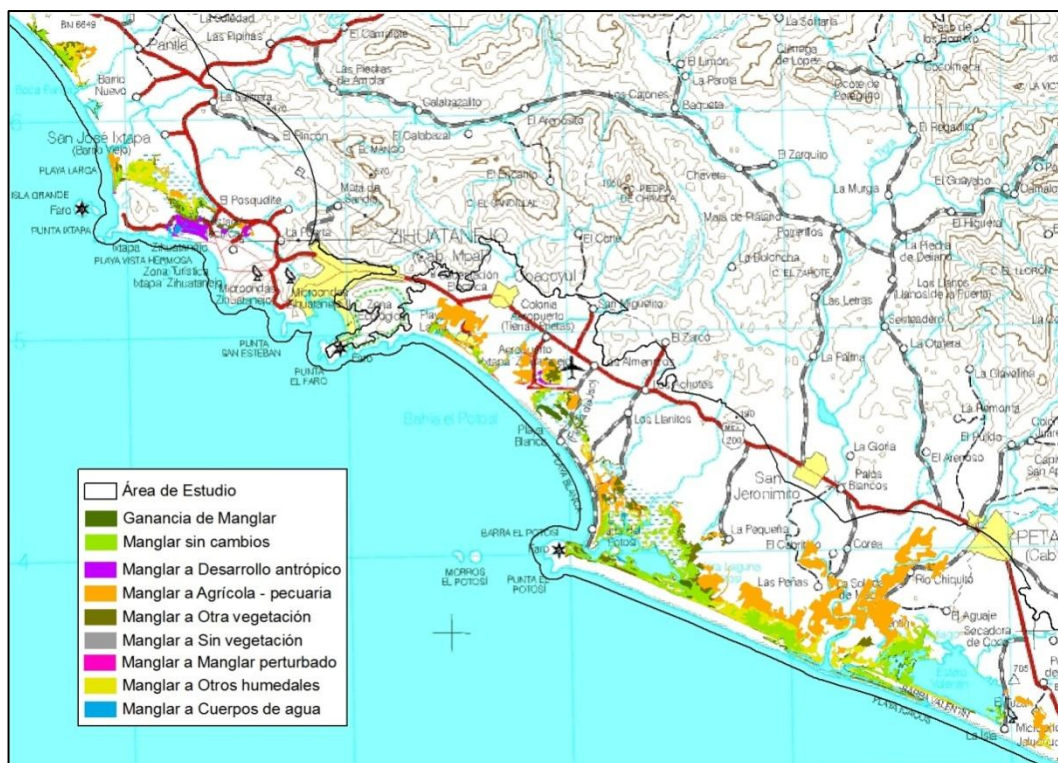


Figura 3.109. Zihuatanejo-Petatlán, Guerrero. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 – 2005.

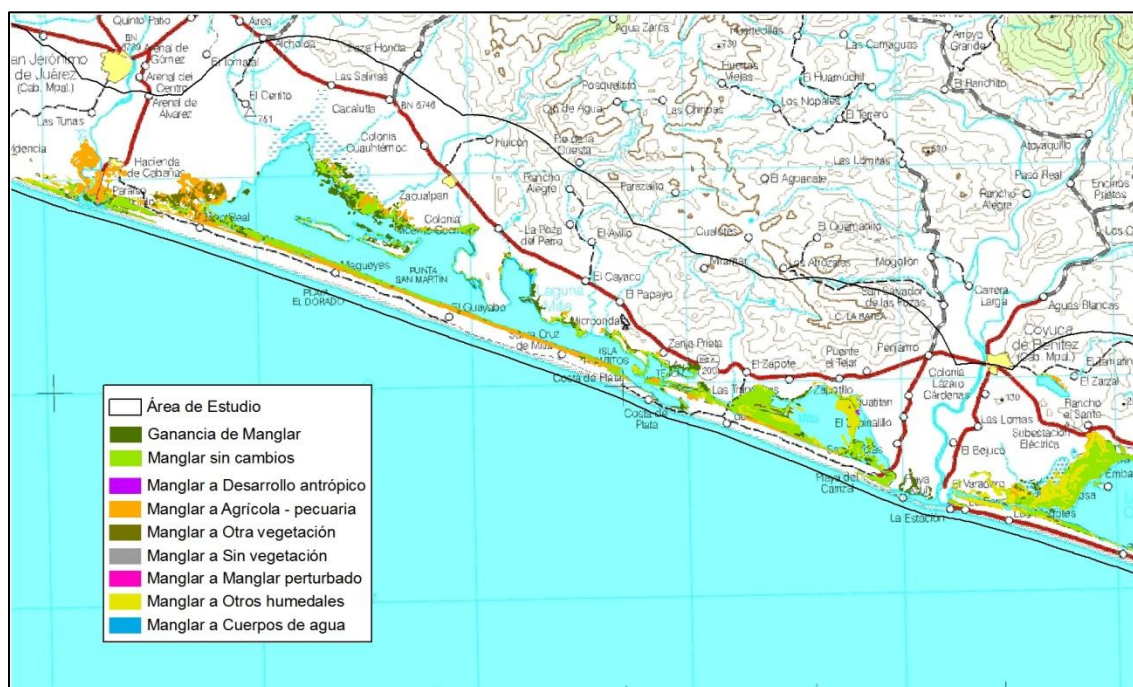


Figura 3.110. Atoyac de Álvarez-Coyuca de Benítez, Guerrero. Ganancias pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 – 2005.

Otra zona que resultó muy dinámica en cuanto a cambios en la cubierta de manglar, se ubica entre las lagunas de Tres Palos, Tecomate y la laguna de Chautengo, en los municipios de Acapulco, San Marcos y Florencio Villarreal. Los problemas identificados en Tres Palos son básicamente, altos niveles de contaminación debido a drenajes domésticos, industriales y de rastros, azolvamiento y dragados, que ha trastocado el intercambio mar-laguna (SAGARPA 2004). El efecto sobre los manglares se aprecia principalmente como la pérdida de 120 ha que se hundieron al sureste de la laguna. En la laguna de Tecomate, el desvío del río Nexapa ha modificado de forma importante la dinámica hidrológica, lo que lleva a que se seque en su mayor parte durante los meses de estiaje, provocando el paso de algunas zonas de manglar a tulares, que son identificados como *Otros humedales* a finales del periodo de estudio. Chautengo ha tenido problemas similares a la laguna de Tecomate, el río Nexapa cambió su curso en la década de 1970, desembocando ahora directamente en la laguna, lo cual propicia su azolvamiento, además de contaminación por aguas residuales de las granjas camaronícolas que se establecieron en 39 ha de antiguo manglar (Figura 3.111).



Figura 3.111. Tres Palos-Chautengo, Guerrero. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 – 2005.

Finalmente cabe mencionar que el estado de Guerrero tiene el mayor número de sitios de manglar (7 de un total de 13) identificados como prioritarios en la región Pacífico Sur por CONABIO (CONABIO 2009a). Las fuertes condiciones de desigualdad que caracterizan a la región (PNUD 2004), propician que exista presión hacia el cambio de uso de suelo en algunas regiones de manglar, como el caso de la Barra de Potosí (Escobar 2011), lo que probablemente mantendrá una fuerte dinámica de cambios. La recuperación de 2,369 ha de manglar (Tabla 3.88) en diferentes zonas (principalmente en áreas de *Otros humedales*), corrobora la capacidad de colonización observada para este grupo de especies en nuestro país (López-Medellín *et al.* 2011), sin embargo, al igual que en algunas de las conclusiones obtenidas en estos estudios, los factores que llevan a la desaparición de este tipo de bioma resultaron ser más significativos.

Tabla 3.88. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Guerrero (1979-2005).

Mapa 1979										
Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005	
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	3,893.4	3,812.3	1,809.0	101.5	397.3	0.0	245.7	62.2	10,321.4
	2.- Agrícola - Pecuaria	679.1	87,628.0	36,836.8	584.8	4,111.1	0.0	3,166.6	1,191.3	134,197.7
	3.- Otra vegetación	151.7	9,917.4	51,691.0	373.0	1,845.1	0.0	1,184.5	348.2	65,510.9
	4.- Sin vegetación	23.6	1,541.3	171.5	3,046.8	67.6	0.0	85.3	367.1	5,303.2
	5.- Manglar	4.3	595.2	222.8	21.0	6,065.8	0.0	1,199.9	325.5	8,434.5
	6.- Manglar perturbado	0.0	0.0	0.0	0.0	70.0	0.0	11.4	0.8	82.2
	7.- Otros humedales	19.5	1,649.2	613.9	40.9	2,893.2	0.0	8,838.6	1,336.6	15,391.9
	8.- Cuerpos de agua	23.5	569.1	373.1	2,834.2	897.6	0.0	1,738.0	38,276.7	44,712.2
Total 1979	4,795.1	105,712.5	91,718.1	7,002.2	16,347.7	0.0	16,470.0	41,908.4	283,954.0	
EL %	81.20	82.89	56.36	43.51	37.10	n.a.	53.66	91.33		
ER %	115.25	26.95	-28.57	-24.26	-48.41	n.a.	-6.55	6.69		

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9, la cual podría presentar sobreposición en ambas fechas. Cartografía digital relacionada: GRO_CC_ccl.shp y GRO_CM_ccl.shp.

Tabla 3.89. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Guerrero (1979-2005).

Mapa 1979										
Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005	
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	1.4	1.3	0.6	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	3.64
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.2	30.9	13.0	0.2	1.5	0.0	1.1	0.4	47.27
	3.- Otra vegetación	0.1	3.5	18.2	0.1	0.7	0.0	0.4	0.1	23.06
	4.- Sin vegetación	0.0	0.5	0.1	1.1	0.0	0.0	0.0	0.1	1.86
	5.- Manglar	0.0	0.2	0.1	0.0	2.1	0.0	0.4	0.1	2.97
	6.- Manglar perturbado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02
	7.- Otros humedales	0.0	0.6	0.2	0.0	1.0	0.0	3.1	0.5	5.42
	8.- Cuerpos de agua	0.0	0.2	0.1	1.0	0.3	0.0	0.6	13.5	15.75
Total 1979	1.690	37.220	32.300	2.470	5.760	0.000	5.800	14.750	99.99	

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Patrones e índices espaciales

En la Tabla 3.90 se muestran los resultados del cálculo de los diferentes índices aplicados a la distribución de manglares en el estado de Guerrero de 1979 a 2005. Se puede observar que el área de manglar se redujo en 7,913 ha y que el número de parches en la Fecha 2 es mayor que en la Fecha 1; este patrón sigue lo esperado en términos generales, ya que se asume que a mayor fragmentación existirá un mayor número de parches. La disminución del área total de manglar debido principalmente al cambio de cobertura a actividades agrícola-pecuarias en el estado de Guerrero ayudó a que el número de parches aumentara a partir de la disgregación de los parches más grandes.

Tabla 3.90. Atributos e índices de la clase manglar en el estado de Guerrero.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM (%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	IF	IIC
F1	16,348	434	16.02	37.67	0.29	0.38	0.68	55.14	0.014
F2	8,435	545	5.90	15.48	0.16	0.48	0.80	19.36	0.017

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; NP: Número de Parches; IPM: Índice de Parche Mayor; AP: Área promedio de los parches; IA_L: Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; IA_S: Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; R_c: Dispersión de parches; IF: Índice de fragmentación; IIC: Índice Integral de conectividad.

En negrillas se muestra el valor más alto.

El valor más alto obtenido para el índice de parche mayor se encuentra en la Fecha 1 con 16.0 contra 5.9 para la Fecha 2. Esta reducción en el valor del índice nos indica que la cobertura de manglar está perdiendo la capacidad de apoyar funciones ecológicas importantes relacionadas con las coberturas naturales.

La disminución del área total y el incremento del número de parches de manglar fueron acompañados con una reducción del área promedio de los parches (Tabla 3.90). El valor de diferencia para el AP entre las dos fechas fue de 22.2 ha y se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.000$; $Z = 6.236$).

Aproximadamente el 69% de los parches estimados en este análisis presentan un tamaño entre 1 a 10 hectáreas en las dos fechas. Aunque 90% de los fragmentos se encuentran fuertemente sesgados a un tamaño menor a 70 hectáreas para la Fecha 1, y de 31 ha para la Fecha 2. En contraste, sólo 26 (Fecha 1) y 15 (Fecha 2) parches fueron determinados con superficies mayores a 100 ha (Figura 3.112). En esta categoría sobresale un parche mayor a 1,500 ha en la Fecha 1 localizado en Barra de Potosí. En la Fecha 2 este parche fue fragmentado en varios parches, perdiendo de esta manera su condición de parche mayor en el estado de Guerrero. Para la Fecha 2 el mayor parche detectado fue uno con más de 500 ha de extensión y localizado en la parte sur-este de la Laguna Mitla.

Los valores del Índice de amenaza por longitud de frontera muestran una disminución de la Fecha 1 con respecto a la Fecha 2, de aproximadamente 0.13, mientras que los valores referentes al Índice de amenaza por área muestran un aumento de 0.10 para las mismas fechas. Las tendencias de aumentar las áreas agrícolas repercuten de forma directa con la distribución de este tipo de vegetación, si esto no se modifica, la reducción del manglar se verá reducida en los próximos años, a una tasa similar o aproximada a la que se ha calculado en este trabajo.

El valor de dispersión de parches (R_c) al igual que en la mayoría de los otros estados indica que los parches de manglar para ambas fechas (R_c < 1), presentan una distribución. Los valores para el índice de fragmentación (IF) nos indican que hubo una mayor fragmentación en la Fecha 2 (19.4) con relación a la Fecha 1 (55.1) en la cobertura de manglar.

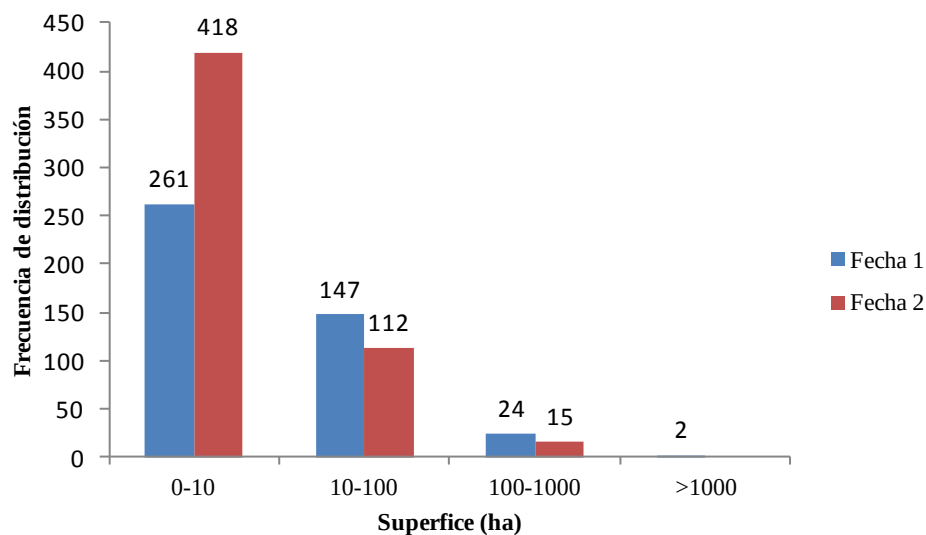


Figura 3.112. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Guerrero.

El valor de dispersión de parches (R_c) al igual que en la mayoría de los otros estados indica que los parches de manglar para ambas fechas ($R_c < 1$), presentan una distribución. Los valores para el índice de fragmentación (IF) nos indican que hubo una mayor fragmentación en la Fecha 2 (19.4) con relación a la Fecha 1 (55.1) en la cobertura de manglar.

De los 434 parches de manglar observados en la Fecha 1 en el estado de Guerrero, diez de ellos (en total 6,991 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) *Alto* y *Muy Alto*, mientras que en la Fecha 2, de los 545 parches de manglar presentes en esa fecha, se lograron identificar 17 parches (en total 3,604 ha) con valor de IIC relevante (*Muy alto* o *Alto*) (Figura 3.113 y Mapas 29 y 30 del Anexo 2).

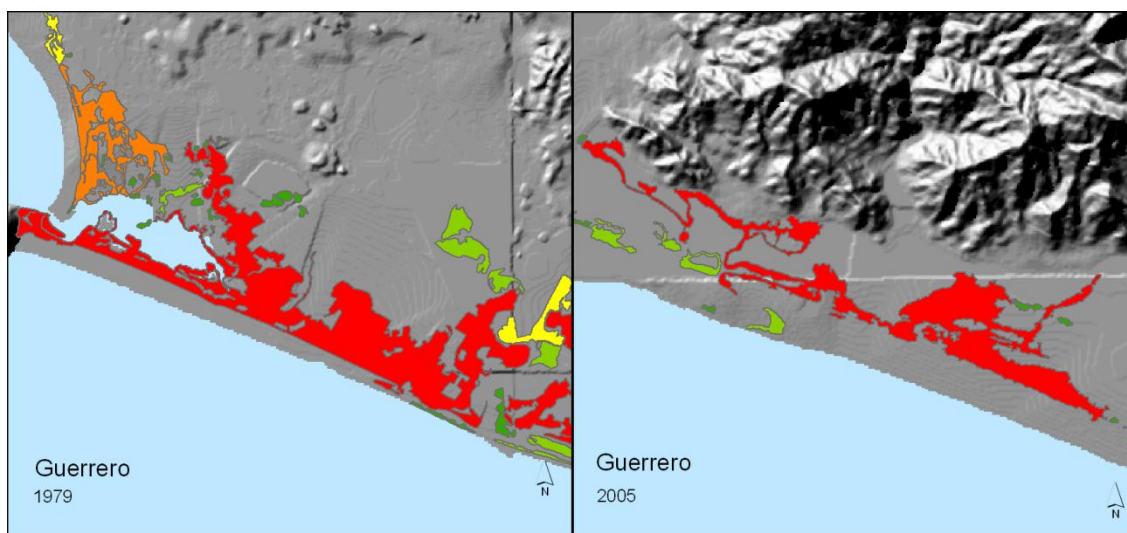


Figura 3.113. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Guerrero.

Simbología: Rojo = Muy alto, Naranja = Alto, Amarillo = Medio, Verde claro = Bajo y Verde oscuro = Muy bajo, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua

La superficie del parche con valor más alto de IIC para la Fecha 1 fue de 1,523 ha, mientras que para la Fecha 2, la superficie del parche con valor más alto de IIC fue de 531 ha. (Figura 3.114). En este caso se registró una disminución de 992 ha de la superficie total de manglar del parche con mayor valor de IIC, que cabe señalar no es el mismo en las dos fechas, ya que una parte importante de todo el parche de manglar con el mayor valor de IIC en la Fecha 1, se perdió en la segunda fecha de análisis, el primero asociado a la Laguna de Potosí y en la segunda fecha ubicado en Laguna Mitla, la mayor parte de la superficie modificada se dio hacia otros humedales y agrícola-pecuario. Aunado a esto, el total de la superficie de manglar con un valor Muy alto o Alto de IIC en general disminuyó 3,387 ha; todo esto sugiere la baja aplicación de medidas adecuadas para la conservación y rehabilitación del ecosistema de manglar en el estado.

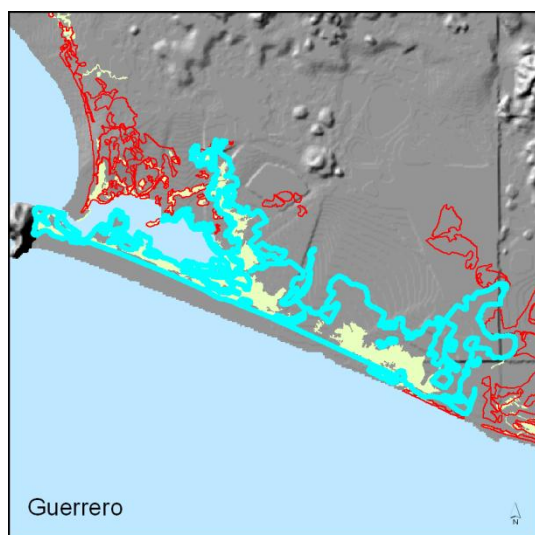


Figura 3.114. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Guerrero.

Simbología: Contorno azul claro = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1, Contorno Rojo= Distribución de manglar en la fecha 1, Verde = Distribución del manglar en la Fecha 2, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua.

Oaxaca

Validación mapa 2005

Se utilizaron 1,161 puntos de validación en total, de los cuales 571 son fotografías aéreas de alta resolución obtenidas por CONABIO y 590 son puntos de campo obtenidos por otras instituciones (ver sección de materiales y métodos) de los cuales se presenta la evaluación de 924 correspondientes a las 4 clases evaluadas. Con esos datos se obtuvo que la validación para el mapa de uso del suelo y vegetación para Oaxaca tiene una exactitud global del 75.65% y un índice de Kappa de 0.67 (Tabla 3.91) contra una precisión global ponderada por áreas del 70.36% y un índice de Kappa que resulta en 0.53 (Tabla 3.92). Para este estado en particular, la clase más sensible a la ponderación fue la de manglares, debido al sobremuestreo que presentan, tomando en cuenta su superficie con relación a otras coberturas.

Tabla 3.91. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Oaxaca.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	396	18	2	0	416	4.81
	3.- Otra vegetación	106	99	10	20	235	57.87
	5.- Manglar	11	29	131	6	177	25.99
	7.- Otros humedales	13	2	8	73	96	23.96
	Total	526	148	151	99	924	Exactitud Global %
Error de Omisión %						75.65	
Exactitud Productor %						75.65	
^K						0.67	

Tabla 3.92. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Oaxaca, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

	Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
	2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	41.38	1.88	0.21	0.00	43.48	4.81
	3.- Otra vegetación	18.45	17.23	1.74	3.48	40.91	57.87
	5.- Manglar	0.41	1.09	4.92	0.23	6.65	25.99
	7.- Otros humedales	1.21	0.19	0.75	6.82	8.96	23.96
	Total	61.46	20.39	7.62	10.52	100	Exactitud Global %
Error de Omisión %						70.36	
Exactitud Productor %						70.36	
^K						0.53	

La validación de la clase *Manglar* para el estado de Oaxaca se ve muy afectada por la ponderación por áreas, debido a que esta clase fue sobremuestreada considerando el área ocupada por manglares contra el área total de estudio, resultando en que en la matriz sin ponderación esta clase tiene el 86.75% de exactitud de productor, mientras que en la matriz ponderada por áreas disminuye hasta el 46.66%, con una sobreestimación del error provocado por las confusiones con la clase *Otra vegetación*. Esto mismo le ocurre a la clase otros humedales, pues presenta una exactitud de productor del 24%, siendo que en la matriz sin ponderación tiene el 73.74%, con confusiones en la clasificación principalmente con otro tipo de vegetación. Las clases *Agrícola-pecuaria* y *Otra vegetación* presentan un buen nivel de exactitud, únicamente confundidas entre ellas mismas.

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para 1979 (Fecha 1) y 2005 (Fecha 2) de Oaxaca, estos se presentan en la Figura 3.115 y en la Tabla 3.93, así como en el Anexo 1, Mapas 61 al 64.

Para el estado de Oaxaca, el área de estudio es de 436,529.1 ha, que representa el 5.07% del total nacional. Este estado presenta tres clases dominantes desde la fecha inicial: *Cuerpos de agua*, *Otra vegetación* y zonas *Agrícola-pecuarias*. En conjunto representan más del 80% de la superficie total. La dominancia de *Cuerpos de agua* se debe a que en la región se encuentran varias lagunas costeras de gran extensión, como son Corralero, el sistema Chacahua-Pastoría, la laguna Superior e Inferior y el sistema lagunar Mar Muerto que comparte con el estado de Chiapas, todas con presencia de manglares.

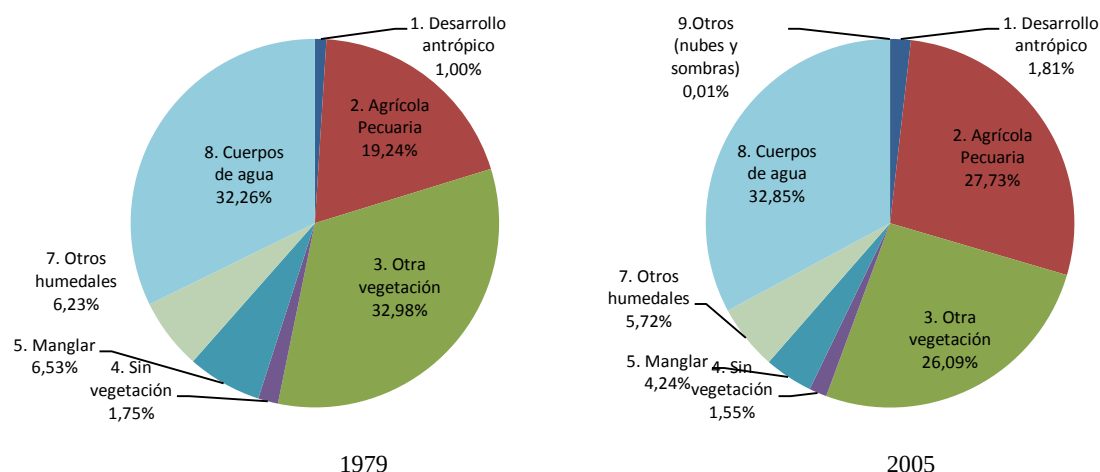


Figura 3.115. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Oaxaca en 1979 y 2005.

Tabla 3.93. Extensión del uso del suelo y vegetación en Oaxaca (1979-2005).

Clase	1979		2005		+/- Netas	r (%)
	ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	4,385.0	1.00	7,905.7	1.81	3,520.7	2.42
2.- Agrícola - Pecuaria	83,974.8	19.24	121,045.4	27.73	37,070.6	1.61
3.- Otra vegetación	143,972.2	32.98	113,901.0	26.09	-30,071.2	-0.97
4.- Sin vegetación	7,656.1	1.75	6,764.4	1.55	-891.7	-0.47
5.- Manglar	28,501.0	6.53	18,522.1	4.24	-9,978.9	-1.65
6.- Manglar perturbado	0.0	0.00	5.5	0.00	5.5	n.a.
7.- Otros humedales	27,196.9	6.23	24,956.1	5.72	-2,240.8	-0.31
8.- Cuerpos de agua	140,843.1	32.26	143,386.5	32.85	2,543.4	0.06
9.-Otros (nubes y sombras)	0.0	0.00	42.4	0.01	n.a.	n.a.
Total	436,529.1	100.00	436,529.1	100.00		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Por superficie total, las clases con mayor dinámica de cambio durante el periodo de estudio fueron: *Agrícola Pecuaria*, que tuvo un incremento de 37,070 ha y la clase *Otra vegetación* que tuvo una disminución de 30,071 ha totales (Tabla 3.93). Es también entre estas dos clases que se presenta el mayor intercambio de superficie, al ceder la clase *Otra vegetación* 50,315 ha a la clase *Agrícola pecuaria* y

recuperar también, durante el periodo de estudio, 16,293 ha que fueron identificadas como zonas *Agrícola pecuarias* en la Fecha 1 (Tabla 3.94).

En términos relativos, la clase *Desarrollo antrópico* exhibió la mayor tasa de incremento anual (2.42%), lo que le llevó a incrementar su superficie poco más de tres cuartas partes, seguido de la clase *Agrícola pecuaria* con 1.61% de incremento anual y, en mucho menor medida de *Cuerpos de agua* con 0.06% de incremento anual (Tabla 3.93). El resto de clases de cobertura presentaron decrementos, siendo el más marcado el de la clase *Manglar*, con -1.65% anual, lo que implicó una pérdida de 9,979 ha o poco más de un tercio de su superficie de distribución en el área de estudio, seguido por *Otra vegetación* (-0.97% anual), *Sin vegetación* (-0.47% anual) y *Otros humedales* (-0.31% anual).

En la matriz de detección de cambio (Tabla 3.94), se observa que las clases que tuvieron los menores valores de estabilidad de localización (EL) fueron las clases *Manglar* (54.77%) y *Sin vegetación* (56.42%). Lo que implica que perdieron 45.23% y 43.58% de la superficie original en la Fecha 1, cediendo área principalmente a *Otra vegetación*, *Otros humedales* y *Agrícola-pecuaria* en el caso de *Manglares*, y *Cuerpos de agua*, *Otra vegetación* y *Agrícola-pecuaria* para el caso de *Sin vegetación*. Sus valores de estabilidad de residencia (ER), muestran que, al final del periodo de estudio, la superficie total disminuyó en 35.01% y 11.65% respectivamente. La clase que compensó parte de las pérdidas para ambos fueron principalmente áreas de *Otros humedales*.

La misma tendencia de pérdida de superficie fue observado para las clases *Otra vegetación* y *Otros humedales* (ER de -20.88% y -8.24%), sin embargo las pérdidas en la superficie original fueron aún mayores al mostrar valores de EL de 60.48 (se perdió el 39.52% del área existente en la Fecha 1) y 63.66% (se perdió el 36.34% del área existente en la Fecha 1), respectivamente. La diferencia para ambas fue compensada principalmente con la transformación de áreas de la clase *Agrícola-pecuaria* a estas dos clases.

La clase que mostró una mayor EL fue *Cuerpos de agua*, 97.69% de la superficie en la Fecha 1 se corresponde con las áreas identificadas en el año 2005, pero aún su presencia se incrementó en un 1.81% (ER), por el paso a zonas inundadas de áreas correspondientes a *Otros humedales* y de *Manglar*, principalmente. Las zonas que pasaron dejaron de pertenecer a la clase *Cuerpos de agua* durante el periodo de estudio, lo hicieron hacia *Otros humedales* (958 ha) y *Agrícola pecuaria* (780 ha) principalmente.

Las clases *Desarrollo antrópico* y *Agrícola-pecuaria*, mostraron valores de EL moderados (76.64% y 76.16%) e incrementos en la superficie total al final del periodo de estudio. La clase *Desarrollo antrópico* incrementó en poco más de tres cuartas partes su superficie de distribución, principalmente a costa de las clases *Otra vegetación* y *Agrícola pecuario*. Las áreas de esta clase cedidas se fueron también a las mismas zonas de expansión, básicamente.

La clase *Agrícola-pecuaria* aumentó su superficie de distribución a costa principalmente de la clase *Otra vegetación* (50,315 ha o poco más de la mitad de superficie original de agricultura en la Fecha 1), es interesante hacer notar que al mismo tiempo, una importante cantidad de superficie de zonas agrícolas pasó también a ser *Otra vegetación* (16,293 ha). Esto puede tener una explicación en la dinámica agrícola de la región, que se basa aún en gran medida en el sistema RTQ (roza-tumba y quema) para abrir terrenos en las áreas boscosas o de selva, con el fin de establecer parcelas agrícolas o pastizales. Esta dinámica se ha venido incrementando en los últimos años con el incremento en la población (Duran *et al.* 2007), aunado a esto, también se tiene evidencia del abandono de parcelas como efecto de la migración de las regiones rurales de todo el estado.

Particularizando el caso de la clase *Manglar*, se tiene que ha sufrido una merma considerable en su área de distribución, si bien muestra la ya observada capacidad de colonización de este ecosistema en nuestro país

(López-Medellín *et al.* 2011) al colonizar 2,890 ha distribuidas principalmente en áreas de *Otros humedales*, *Otra vegetación* y *Agrícola-pecuarias*, principalmente, las pérdidas fueron casi tres veces mayores durante el periodo de estudio.

Las áreas cedidas por el *Manglar* pasaron a *Otra vegetación*, *Otros humedales*, *Agrícola pecuaria* y *Cuerpos de agua*, principalmente. En mucho menor medida a *Desarrollo antrópico* y *Sin vegetación* (Figura 3.116). Esto parece sustentar observaciones locales que apuntan a que las principales causas de cambio en estos ecosistemas, están relacionadas con un creciente desorden en el desarrollo de los sectores productivos, que hacen un mal uso del espacio y los recursos en varias de las lagunas costeras con presencia de mangle (SAGARPA 2004) y en la intensificación de las actividades agrícola-pecuarias que en muchas ocasiones afecta de forma directa a este ecosistema (Salas-Morales *et al.* 2003), pero en mayor medida en forma indirecta, ya que estas actividades propician problemas de contaminación y eutrofización en las lagunas costeras, que llevan a la desaparición paulatina de las comunidades de mangle, como se ha observado en el parque nacional Lagunas de Chacahua (Huerta y Propin 2000), ver Figura 3.117.

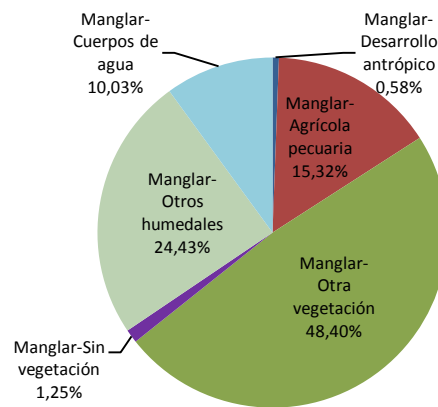


Figura 3.116. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Oaxaca durante el periodo 1979 – 2005.

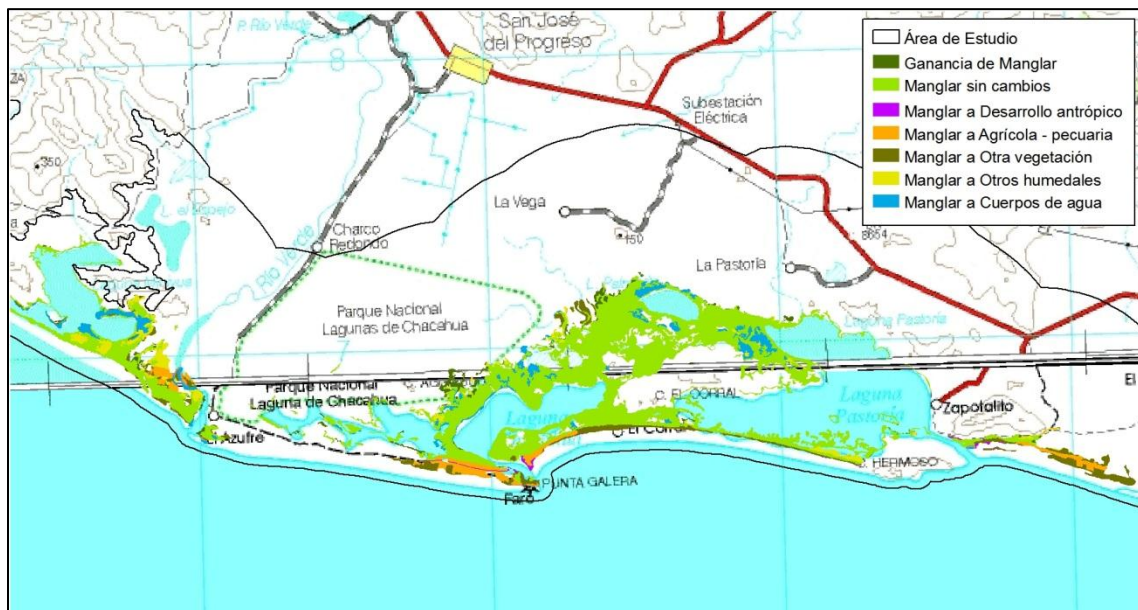


Figura 3.117. Sistema Lagunar Chacahua, Oaxaca. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 – 2005.

Una situación similar de cambios en el sistema hidrológico, se observó en el sistema lagunar Corralero (SAGARPA 2004), donde la merma en el aporte de agua dulce hacia la laguna provoca el azolve constante de la boca que la comunica al mar, provocando fuertes problemas de eutrofización que se ven incrementados por las crecientes áreas agrícolas en los alrededores (Figura 3.118).

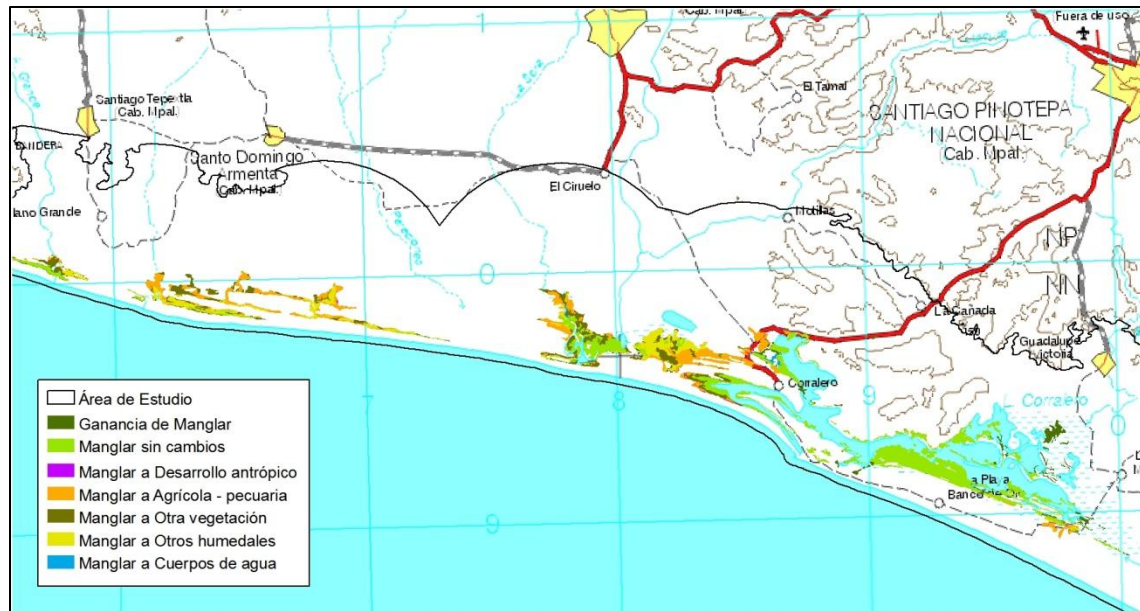


Figura 3.118. Sistema Lagunar Corralero, Oaxaca. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 – 2005.

Los cambios en los patrones fluviales también tienen efectos sobre los manglares, al modificar el balance entre agua dulce y salada, así como el patrón de mareas (Holland *et al.* 2011). En Chacahua, por ejemplo, uno de los afluentes, el río verde, fue modificado para zonas agrícolas y en los sistemas lagunares como Mar Muerto, entre Oaxaca y Chiapas (Figura 3.119) y laguna de Manialtepec, se reconoce la disminución de manglares por otras fuentes (SAGARPA 2004).

Se tienen registros también para Oaxaca, de afectaciones a amplias zonas de manglar causados por el huracán Paulina, que tocó la costa del estado entre Puerto Ángel y Puerto Escondido en 1997. Particularmente destructivo resultó el fenómeno en el sistema lagunar de Tonameca, en donde la comunidad de La Ventanilla (Figura 3.120), al tener una de sus principales fuentes de ingreso del ecoturismo en manglares, llevó a cabo una interesante experiencia, documentando uno de los primeros trabajos de reforestación con manglares en el país. (CONAFOR 2009).

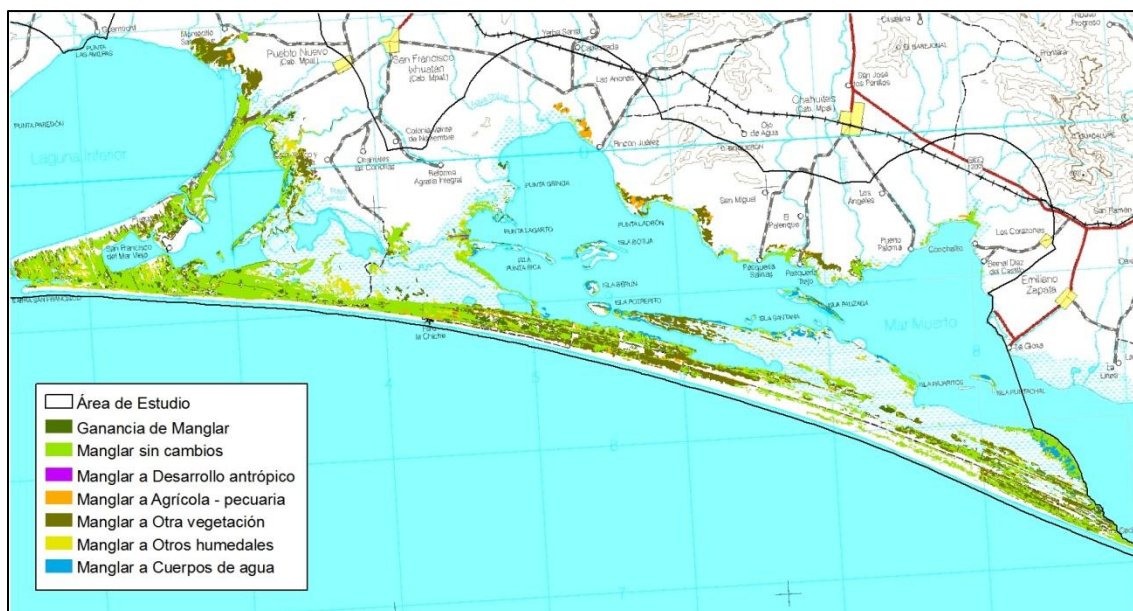


Figura 3.119. Sistema Lagunar Mar Muerto, Oaxaca. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 – 2005.

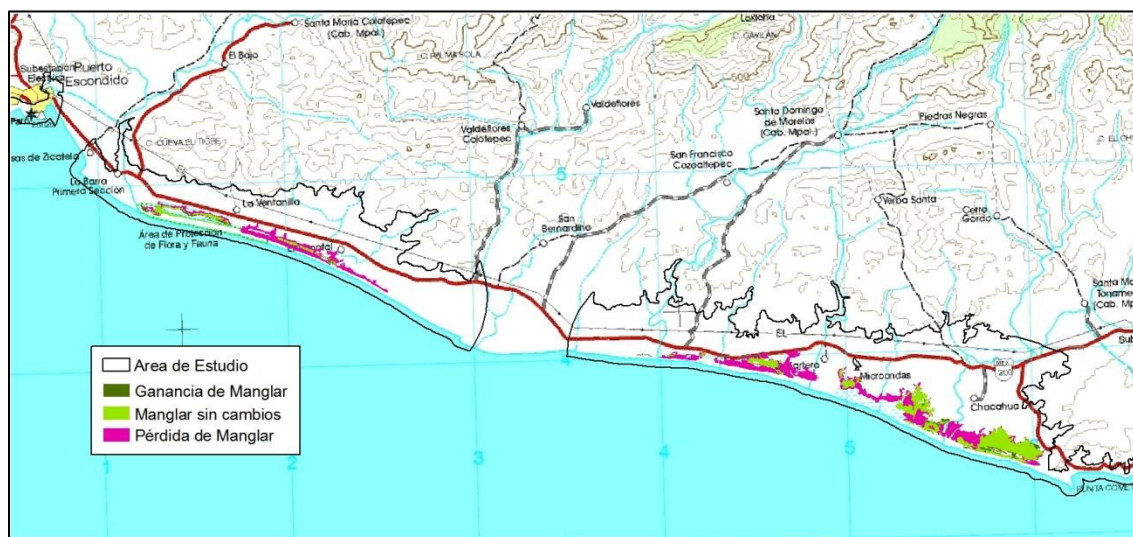


Figura 3.120. Corredor afectado por el huracán Paulina, Oaxaca. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1979 – 2005.

Tabla 3.94. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Oaxaca (1979-2005).

Mapa 1979										
	Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	3,359.8	1,346.6	2,495.5	137.0	75.4	0.0	290.3	201.1	7,905.7
	2.- Agrícola - Pecuaria	503.5	63,937.8	50,315.0	523.8	1,974.1	0.0	3,010.9	780.3	121,045.4
	3.- Otra vegetación	347.9	16,293.1	87,057.0	923.8	6,238.5	0.0	2,475.5	565.2	113,901.0
	4.- Sin vegetación	19.7	342.0	645.4	4,319.4	160.6	0.0	850.4	426.9	6,764.4
	5.- Manglar	65.4	499.8	912.0	51.4	15,611.1	0.0	1,063.5	318.9	18,522.1
	6.- Manglar perturbado	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	5.2	0.0	5.5
	7.- Otros humedales	47.6	1,152.8	1,894.6	442.0	3,148.5	0.0	17,312.9	957.7	24,956.1
	8.- Cuerpos de agua	40.2	379.3	634.6	1,258.4	1,292.8	0.0	2,188.2	137,593.0	143,386.5
	Total 1979	4,384.1	83,951.4	143,954.1	7,656.1	28,501.0	0.0	27,196.9	140,843.1	436,486.7
	EL %	76.64	76.16	60.48	56.42	54.77	n.a.	63.66	97.69	
	ER %	80.33	44.19	-20.88	-11.65	-35.01	n.a.	-8.24	1.81	

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9, la cual podría presentar sobreposición en ambas fechas. Cartografía digital relacionada: OAX_CC_ccl.shp y OAX_CM_ccl.shp.

Tabla 3.95. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Oaxaca (1979-2005).

		Mapa 1979								
Clase		1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	0.77	0.31	0.57	0.03	0.02	0.00	0.07	0.05	1.82
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.12	14.65	11.53	0.12	0.45	0.00	0.69	0.18	27.74
	3.- Otra vegetación	0.08	3.73	19.94	0.21	1.43	0.00	0.57	0.13	26.09
	4.- Sin vegetación	0.00	0.08	0.15	0.99	0.04	0.00	0.19	0.10	1.55
	5.- Manglar	0.01	0.11	0.21	0.01	3.58	0.00	0.24	0.07	4.23
	6.- Manglar perturbado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7.- Otros humedales	0.01	0.26	0.43	0.10	0.72	0.00	3.97	0.22	5.71
	8.- Cuerpos de agua	0.01	0.09	0.15	0.29	0.30	0.00	0.50	31.52	32.86
Total 1979		1.00	19.23	32.98	1.75	6.54	0.00	6.23	32.27	100.00

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Patrones e índices espaciales

Los resultados del cálculo de los diferentes índices aplicados a la distribución de manglares en el estado de Oaxaca en el periodo 1979-2005 se muestran en la Tabla 3.96. En la misma se puede observar que el área de manglar se redujo en 9,979 ha y que el número de parches en la Fecha 2 es mayor que en la Fecha 1; este patrón sigue lo esperado en términos generales, ya que se asume que a mayor fragmentación existirá un mayor número de parches. La disminución del área total de manglar debido principalmente al cambio de cobertura a otra vegetación y otros humedales ayudó a que el número de parches aumentara a partir de la disgregación y pérdida de los parches más grandes.

Tabla 3.96. Atributos e índices de la clase manglar en el estado de Oaxaca.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM (%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	IF	IIC
F1	28,501	584	23.78	48.80	0.14	0.14	0.78	62.79	0.007
F2	18,522	973	22.25	19.04	0.05	0.20	0.91	20.92	0.002

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; NP: Número de Parches; IPM: Índice de Parche Mayor; AP: Área promedio de los parches; IA_L: Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; IA_S: Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; R_c: Dispersión de parches; IF: Índice de fragmentación; IIC: Índice Integral de conectividad.

En negrillas se muestra el valor más alto.

El valor más alto obtenido para el índice de parche mayor se encuentra en la Fecha 1 con 23.8 contra 22.2 para la Fecha 2. Esta reducción en el valor del índice nos indica que la cobertura de manglar está perdiendo la capacidad de sostener funciones ecológicas importantes relacionadas con las coberturas naturales.

La disminución del área total y el incremento del número de parches de manglar fueron acompañados con una reducción del área promedio de los parches (Tabla 3.96). El valor de diferencia para el AP entre las dos fechas fue de 29.8 ha y esta diferencia es estadísticamente significativa ($p = 0.000$; $Z = 6.766$).

Aproximadamente el 74% de los parches estimados en este análisis presentan un tamaño entre 1 a 10 hectáreas en las dos fechas. Aunque 90% de los fragmentos se encuentran fuertemente sesgados a un tamaño menor a 84 hectáreas para la Fecha 1, y de 23 ha para la Fecha 2 (Figura 3.121). En contraste, sólo 49 (Fecha 1) y 27 (Fecha 2) parches fueron determinados con superficies mayores a 100 ha. En esta categoría sobresale un parche mayor a 2,900 ha en la Fecha 1 localizado en Chacahua-Pastoría. En la Fecha 2 este parche se mantiene pero aparece otro parche de mayor superficie entre Laguna inferior y Mar muerto al sur-este del estado. Este parche de más de 3,200 ha fue ganando extensión gracias al crecimiento del manglar en sus bordes y poder conectarse con otros parches de manglar adyacentes, formando de esta manera un parche mayor.

Para esta región el índice de amenaza por longitud de frontera disminuyó de la Fecha 1 a la Fecha 2, pasando de 0.14 a 0.05 respectivamente, mientras que el índice de amenaza por superficies adyacentes se incrementó al pasar de 0.14 a 0.20. Con 14% del perímetro de la clase manglar, compartida con actividades antrópicas y el 14% de la superficie adyacente en la misma situación, entre la Fecha 1 y 2 se verificaron pérdidas importantes en la superficie de manglar. También se verificó un incremento en la fragmentación del paisaje. Si bien disminuye el índice de amenaza por longitud de borde para la Fecha 2, el de área aumenta, lo que podría incidir, de mantenerse las tendencias de uso actual y de crecimiento económico de la región, en el mantenimiento de la dinámica de pérdida de superficie para este ecosistema.

Para el valor de dispersión de parches (R_c), se obtuvo que los parches de manglar para ambas fechas (R_c < 1), presentaron una distribución agregada. Los valores para el índice de fragmentación (IF) nos indican

que hubo una mayor fragmentación en la Fecha 2 (20.9) con relación a la Fecha 1 (62.8) en la cobertura de manglar.

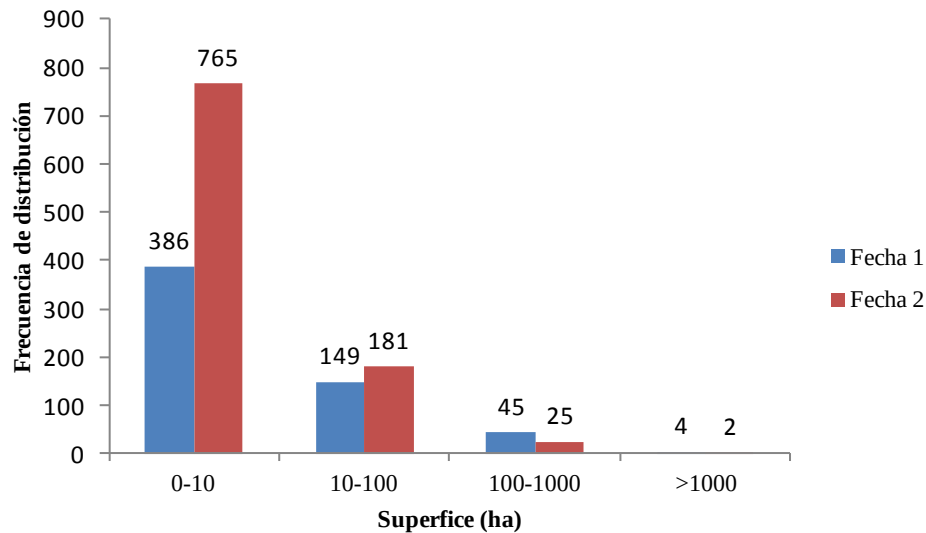


Figura 3.121. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Oaxaca.

De los 584 parches de manglar observados en la Fecha 1 en el estado de Oaxaca ocho de ellos (en total 11,825 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) *Alto* y *Muy Alto*, mientras que en la Fecha 2, de los 973 parches de manglar presentes en esa fecha, se lograron identificar cuatro parches (en total 6,881 ha) con valor de IIC relevante (*Muy alto* o *Alto*) (Figura 3.122 y Mapas 31 y 32 del Anexo 2).

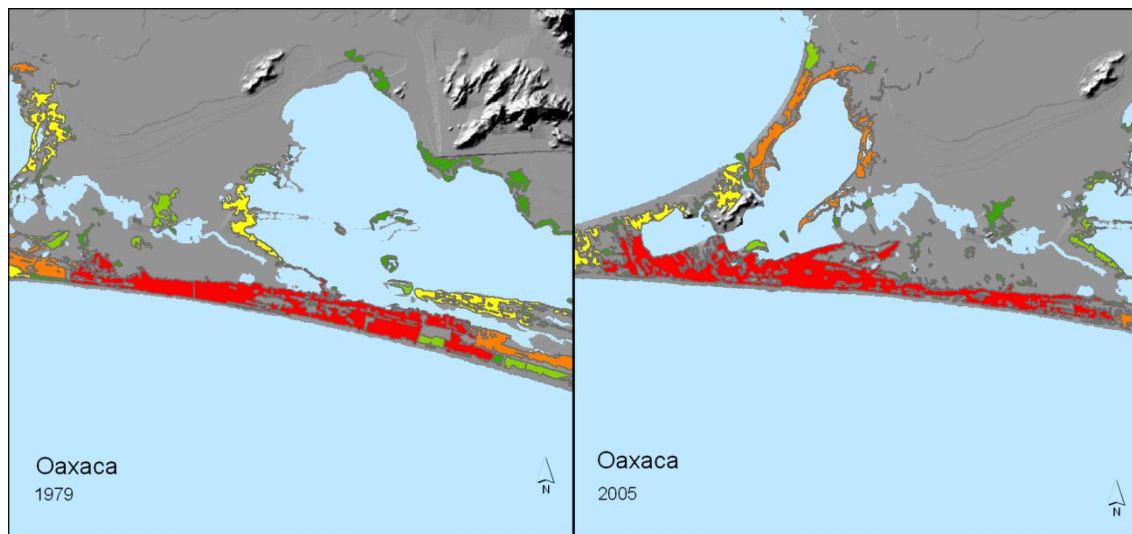


Figura 3.122. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Oaxaca.

Simbología: Rojo = Muy alto, Naranja = Alto, Amarillo = Medio, Verde claro = Bajo y Verde oscuro = Muy bajo, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua

La superficie del parche con valor más alto de IIC para la Fecha 1 fue de 2,761 ha, mientras que para la Fecha 2, la superficie del parche con valor más alto de IIC fue de 3,263 ha. (Figura 3.123). En este caso se

registró un aumento de 502 ha de la superficie total de manglar del parche con mayor valor de IIC, sin embargo estos parches tienen una ubicación completamente diferente en las dos fechas de análisis, en la primera Fecha ubicado en Chacahua-Pastoría, y en la segunda Fecha entre Laguna inferior y Mar muerto al sur-este del estado, como se mencionó anteriormente este parche de más de 3,200 ha fue ganando extensión gracias al crecimiento del manglar en sus bordes y poder conectarse con otros parches de manglar adyacentes, formando de esta manera un parche mayor. No obstante, el total de la superficie de manglar con un valor Muy alto o Alto en general disminuyó 4,944 ha.

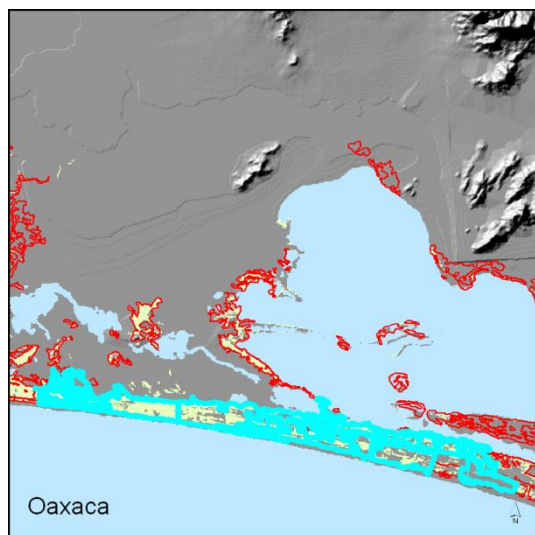


Figura 3.123. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Oaxaca.

Simbología: Contorno azul claro = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1, Contorno Rojo= Distribución de manglar en la fecha 1, Verde = Distribución del manglar en la Fecha 2, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua.

Chiapas

Validación mapa 2005

Se realizó la evaluación de exactitud del mapa de uso del suelo y vegetación del estado de Chiapas utilizando 479 puntos obtenidos de fotografías aéreas de alta resolución más 393 puntos obtenidos de otras instituciones (ver sección de materiales y métodos), por lo que en total se obtuvieron 872 puntos, de los cuales se presenta la evaluación de 740 correspondientes a las cuatro clases evaluadas. La exactitud global del mapa es de 85.4% y el índice de Kappa es de 0.80 (Tabla 3.97). Al generar la matriz de confusión ponderada por las áreas correspondientes a cada clase del mapa para evitar el sesgo provocado por el tipo de muestreo seleccionado, la exactitud global estimada es de 81.76%, mientras que el índice de Kappa resultó en 0.69 (Tabla 3.98).

Tabla 3.97. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Chiapas.

		Cinapas.						
		Datos de referencia					Error de	Exactitud
		2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total	Comisión %	Usuario %
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	309	8	1	2	320	3.44	96.56
	3.- Otra vegetación	32	20	9	8	69	71.01	28.99
	5.- Manglar	3	3	268	3	277	3.25	96.75
	7.- Otros humedales	13	11	15	35	74	52.70	47.30
	Total	357	42	293	48	740	Exactitud Global %	
Error de Omisión %		13.45	52.38	8.53	27.08	85.40		
Exactitud Productor %		86.55	47.62	91.47	72.92			
^K		0.80						

Tabla 3.98. Matriz de confusión del mapa temático resultado de la clasificación del 2005 con imágenes SPOT de Chiapas, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.

Mapas, ponderada con la superficie correspondiente a cada clase obtenida en el mapa.								
		Datos de referencia					Error de Comisión %	Exactitud Usuario %
		2.- Agrícola-Pecuaria	3.- Otra vegetación	5.- Manglar	7.- Otros humedales	Total		
Mapa 2005	2.- Agrícola-Pecuaria	55.06	1.43	0.18	0.36	57.02	3.44	96.56
	3.- Otra vegetación	4.81	3.01	1.35	1.20	10.38	71.01	28.99
	5.- Manglar	0.18	0.18	16.18	0.18	16.72	3.25	96.75
	7.- Otros humedales	2.79	2.36	3.22	7.51	15.88	52.70	47.30
	Total	62.84	6.98	20.93	9.25	100	Exactitud Global %	
Error de Omisión %		12.39	56.87	22.70	18.81	81.76		
Exactitud Productor %		87.61	43.13	77.30	81.19			
^K		0.69						

La evaluación de exactitud para la clase *Otra vegetación* del mapa de Chiapas es de apenas cerca del 30% de exactitud de usuario y 43.13 de exactitud del productor, resultado de confusiones con la clase *Agrícola-pecuaria* y *Otros humedales* debido a la similitud espectral entre zonas de vegetación secundaria y áreas agrícolas en descanso prolongado o abandonadas. Del lado contrario, la clase *Agrícola-Pecuaria* tiene un buen nivel de exactitud en ambos sentidos. *Otros humedales* tienen una exactitud de usuario baja, presentando confusiones importantes con el resto de las clases casi de manera similar.

Detección de cambios y tasas de transformación

En lo que respecta a los resultados de la distribución y extensión de los usos del suelo y tipos de vegetación para 1972 (Fecha 1) y 2005 (Fecha 2) de Chiapas, estos se presentan en la Figura 3.124 y en la Tabla 3.99, así como en el Anexo 1, Mapas 65 a 68.

Para el estado de Chiapas, el área de estudio es de 350,852.6 ha, que representa el 4.08% del total nacional. En la fecha inicial, se presentaban 5 clases como dominantes: *Agrícola-pecuaria*, *Cuerpos de agua*, *Manglar*, *Otra vegetación* y *Otros humedales*, en ese orden, sumaban el 98.8% de la superficie total, para el año 2005, de las anteriores clases, sólo dos incrementaron su presencia (*Agrícola-pecuaria* y *Cuerpos de agua*), las otras tres disminuyeron sus áreas de distribución, de forma más marcada las clases *Otra vegetación* y *Manglar*.

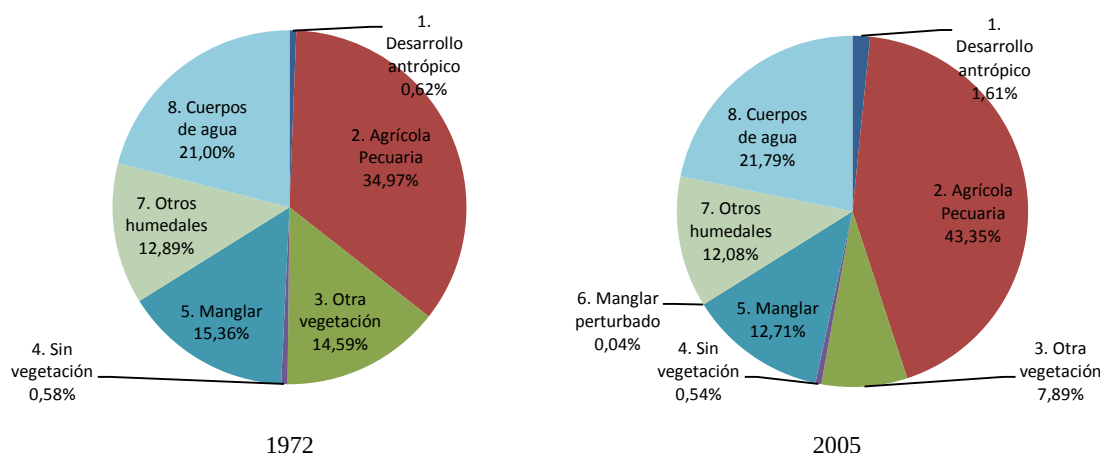


Figura 3.124. Proporción de área de las coberturas de suelo en el área de estudio en el estado de Chiapas en 1972 y 2005.

Tabla 3.99. Extensión del uso del suelo y vegetación en Chiapas (1972-2005).

Clase	Extensión					
	1972		2005		+/- Netas	r (%)
	ha	%	ha	%		
1.- Desarrollo antrópico	2,168.7	0.61	5,642.8	1.60	3,474.1	3.32
2.- Agrícola - Pecuaria	122,677.6	34.97	152,083.3	43.35	29,405.7	0.76
3.- Otra vegetación	51,188.4	14.59	27,686.4	7.89	-23,502.0	-1.73
4.- Sin vegetación	2,028.6	0.58	1,906.8	0.54	-121.8	-0.14
5.- Manglar	53,901.3	15.36	44,598.3	12.71	-9,303.0	-0.54
6.- Manglar perturbado	0.0	0.00	134.7	0.04	134.7	n.a.
7.- Otros humedales	45,216.9	12.89	42,366.7	12.08	-2,850.2	-0.21
8.- Cuerpos de agua	73,671.1	21.00	76,433.6	21.79	2,762.5	0.13
9.-Otros (nubes y sombras)	0.0	0.00	0.0	0.00	n.a.	n.a.
Total	350,852.6	100.00	350,852.6	100.00		

Nota: +/-: ganancias y pérdidas (en ha); n.a.: no aplica; r: tasa ponderada de cambio de uso del suelo anual, de acuerdo con la fórmula de Puyravaud (2003); el total de los porcentajes no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Las tasas de transformación confirman lo mencionado en el párrafo anterior (Tabla 3.99), la clase *Otra vegetación* tuvo el mayor ritmo de pérdidas con un -1.73% de cambio anual en su superficie, seguida por *Manglar* con un -0.54%, *Otros humedales* (-0.21%) y *Sin vegetación* (-0.14%). Por otra parte, las clases

con tasas de transformación positivas fueron: *Desarrollo antrópico* con un 3.32% de incremento anual, *Agrícola-pecuaria* con un ritmo de cambio de 0.76% anual y en menor medida, *Cuerpos de agua* con un 0.13% de incremento anual.

De manera global, se presentaron movimientos entre clases en 83,243 ha (ver Tabla 3.100), que representa el 23.73% del área de estudio. Por la cantidad de superficie, destacan los intercambios entre las clases *Agrícola pecuaria* y *Otra vegetación*. El paso de áreas de *Otra vegetación* a la clase *Agrícola-pecuaria* por sí sola representó el 35.48% de los movimientos registrados entre clases. Lo anterior se reflejó claramente en los valores de estabilidad de localización de la clase *Otra vegetación*, pues se perdió 71.13% de sus áreas de distribución original (EL=28.87%), por otra parte si bien recuperó superficie, principalmente a costa de la misma clase a la que cedió la mayor parte de sus pérdidas es decir *Agrícola pecuaria*, así como de *Manglares* y *Otros humedales*, no alcanzó a revertir su tendencia de pérdida y terminó con una disminución respecto al área que ocupaba en la Fecha 1 de 45.91% (ER).

Otra clase con una tendencia parecida a la anterior fue la clase *Sin Vegetación*, no obstante, con respecto a la cantidad de superficie del resto de las clases, de manera marginal, 558 ha de esta categoría pasaron a ser zonas inundadas así como 329 ha de la clase *Otra vegetación*. Si bien también algunas áreas que eran *Cuerpos de agua* regresaron a esta categoría, así como algunas superficies de las clases *Agrícola-pecuaria* y *Otra vegetación*, al final, para el 2005, terminó con una ER de -6% (reducción neta con respecto a la superficie en la Fecha 1) y de la superficie restante sólo 39.52% (EL) corresponde a las áreas de distribución originales.

Con valores de EL moderados y valores de EL negativos se encuentran las clases *Otros humedales* y *Manglares*. La primera se mantuvo en su localización original de la Fecha 1 en sólo el 64.99% de la superficie, siendo sustituida por las clases *Agrícola-pecuaria*, *Manglares*, *Cuerpos de Agua* y *Otra vegetación*, principalmente, aunque sólo el paso a *Agrícola pecuaria* representó el 48.73% de las pérdidas de esta clase. La clase *Manglar* por su parte, tuvo sus principales pérdidas a favor precisamente de *Otros humedales* (36% de las pérdidas de esta clase entre la Fecha 1 y el 2005), seguido de las clases *Otra vegetación*, *Agrícola pecuaria* y *Cuerpos de agua*, su EL resultó ligeramente mayor a la de *Otros humedales* (72.49%), pero al final sus pérdidas no fueron compensadas por las áreas donde se recuperó (principalmente *Otros humedales* como se mencionó) y tuvo pérdidas netas respecto su superficie en la Fecha 1 de 17.26%. Las pérdidas de *Otros humedales* con respecto a su superficie inicial, fueron menores a las de *Manglar*, pues además de recuperar terreno a costa de estos, lo hizo también en 4,750 ha de la clase *Otra vegetación*, presentando al final una ER de -6.3%.

Las clases que presentaron valores de ER positivos, también presentaron valores de EL relativamente altos. El más destacado por su crecimiento durante el periodo de estudio fue la clase *Desarrollo antrópico*, pues multiplicó por 2.6 veces su superficie original, lo que, como se mencionó, le llevó a tener la tasa de transformación más alta. Solo perdió de su área de distribución original un 14.74% de su superficie (EL=85.26%), cediéndola a la clase *Agrícola-pecuaria*, principalmente, y ganó terreno a costa precisamente de esta clase y en mucho menor medida en áreas de las clases *Otros humedales* y *Otra vegetación*, al final su superficie de distribución se expandió un 160.17% (ER) con respecto de su área original.

La clase *Agrícola-pecuaria* por su parte, presentó una EL de 90.3%, las pérdidas sobre el 9.7% se dieron, como se había mencionado, al ceder superficie principalmente a la clase *Otra vegetación* y en menor medida a la clase *Desarrollo antrópico* y *Otros humedales*. En cambio, su crecimiento a costa de las clases *Otra vegetación* y *Otros humedales* principalmente, le llevaron a tener un incremento con respecto a su área original (ER) de 23.97% (29,406 ha).

Finalmente, la clase *Cuerpos de agua* mostro la Estabilidad de Localización mayor (96.29%), presentando intercambios de superficie durante el periodo de estudio con las clases *Manglar* y *Otros humedales*,

básicamente. De estos cambios, *Cuerpos de agua* resultó favorecida, presentando al final un incremento (ER) de 3.75% con respecto de su superficie original.

Resumiendo lo anterior, las dinámicas de cambio más destacadas en el área, han sido el incremento de infraestructura en el estado y la intensificación de las actividades agrícola-pecuarias, que se observan en la alta tasa de transformación de la clase *Desarrollo antrópico* y los intercambios de áreas entre las clases *Agrícola-pecuaria* y *Otra vegetación*, lo que sugiere una activa apertura y abandono de terrenos para esta actividad. Para el caso de las áreas con presencia de *Manglar*, como se observa en la Figura 3.125, la sustitución de éstos se ha dado principalmente hacia *Otros humedales*, *Otra vegetación* y *Agrícola-pecuaria*, principalmente, aunque también destaca el cambio hacia *Cuerpos de agua*.

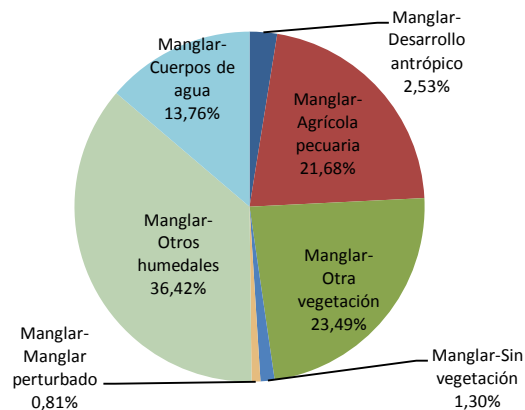


Figura 3.125. Distribución de los cambios de manglar en el área de estudio en el estado de Chiapas durante el periodo 1972 – 2005.

Chiapas se caracteriza por ser predominantemente rural, al año 2000, 71.4% de la población era rural y más de la mitad se localizaba en poblados menores a 2,500 habitantes (Villafuerte y García 2006). Otra característica que confirma la tendencia observada de expansión de las áreas agrícola-pecuarias, es la gran fragmentación de la tierra y el incremento de la población registrada en las últimas tres décadas, que pasó de poco más de millón y medio de habitantes a más de 4 millones en el 2005, con más del 70% de esta población en el medio rural. Lo anterior también se observa en la Tabla 3.101, al observar que la probabilidad de cambio más alta entre 1972 y el 2005 fue precisamente este tipo de cambio (probabilidad de cambio de 8.4%).

Las comunidades de manglar en la región de estudio parecen acusar, tanto de forma directa como indirecta, la intensificación y el desorden en el uso de los recursos naturales. Esta problemática ya había sido descrita para los principales sistemas lagunares costeros del estado (SAGARPA 2004), en donde se encuentran las principales áreas de manglar, entre ellos, el de Mar Muerto, en la frontera con el estado de Oaxaca (Figura 3.126), La Joya-Buenavista (Figura 3.127), Los Patos-Solo Dios y Carretas Pereyra (Figura 3.128).

Otros factores que han afectado a las comunidades de manglar en la región, provienen de fenómenos naturales, algunos estudios en el sistema lagunar de Carretas Pereyra, que se encuentra dentro de la Reserva de la Biósfera La Encrucijada, muestran que, producto de las altas precipitaciones registradas por la tormenta tropical Javier en 1998, los azolves provenientes de las partes altas de las cuencas modificaron los patrones batimétricos en las lagunas (Márquez *et al.* 2006). Los cambios en los patrones hidrológicos en las áreas donde se desarrolla el manglar, pueden llevar a la desaparición de estos ecosistemas, de acuerdo con lo descrito en otros estudios (Kennish 2001) y muchas veces resultan tan dañinos como las afectaciones directas.

Algunas investigaciones reconocen que los ecosistemas de humedales en la región costera del estado de Chiapas, se encuentran fuertemente impactados por las actividades humanas, destacando los efectos indirectos de los procesos de deforestación, producto de la expansión constante de las zonas agrícolas y pecuarias (Tovilla *et al.* 2004). Particularmente en la zona de la Barra de Cahoacán, es posible observar alteraciones al bosque de manglar por la contaminación de agroquímicos, desechos sólidos, uso desmedido de agua y la tala del bosque (Figura 3.129). Producto de esta preocupación por la desaparición de amplias áreas de este ecosistema, se han conducido algunas experiencias de restauración (Reyes y Tovilla 2002).



Figura 3.126. Sistema Lagunar Mar Muerto, Chiapas. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1972 – 2005.

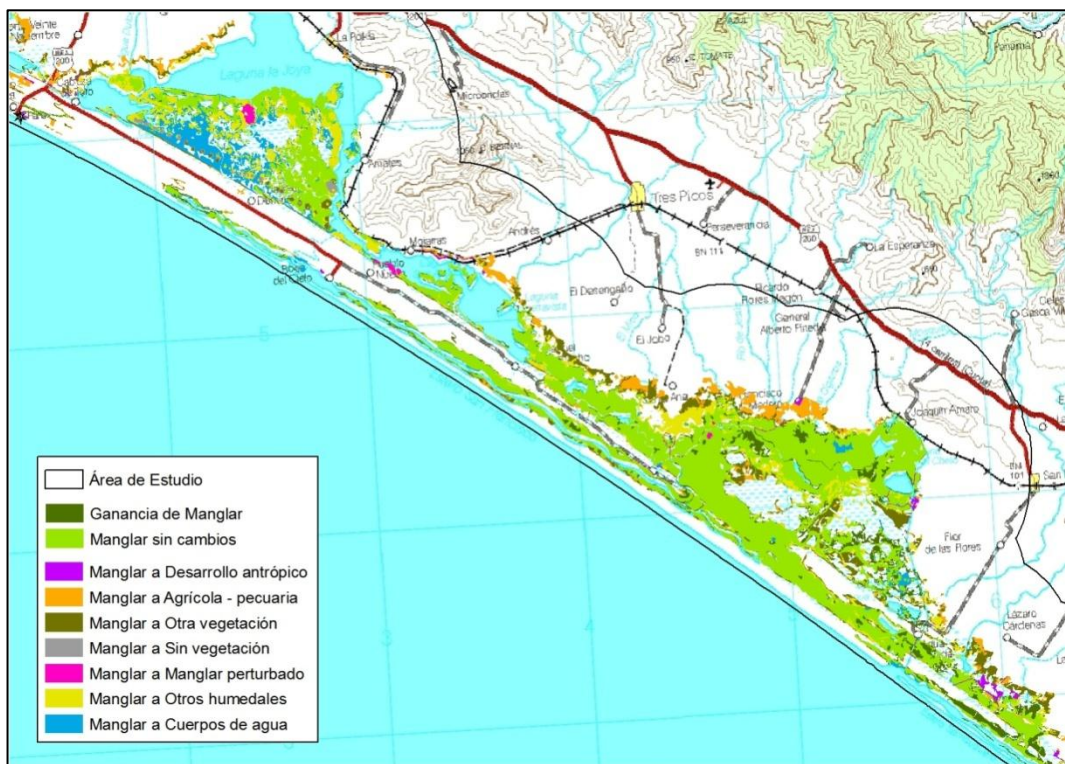


Figura 3.127. Sistema Lagunar La Joya-Buena Vista, Chiapas. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1972 – 2005.

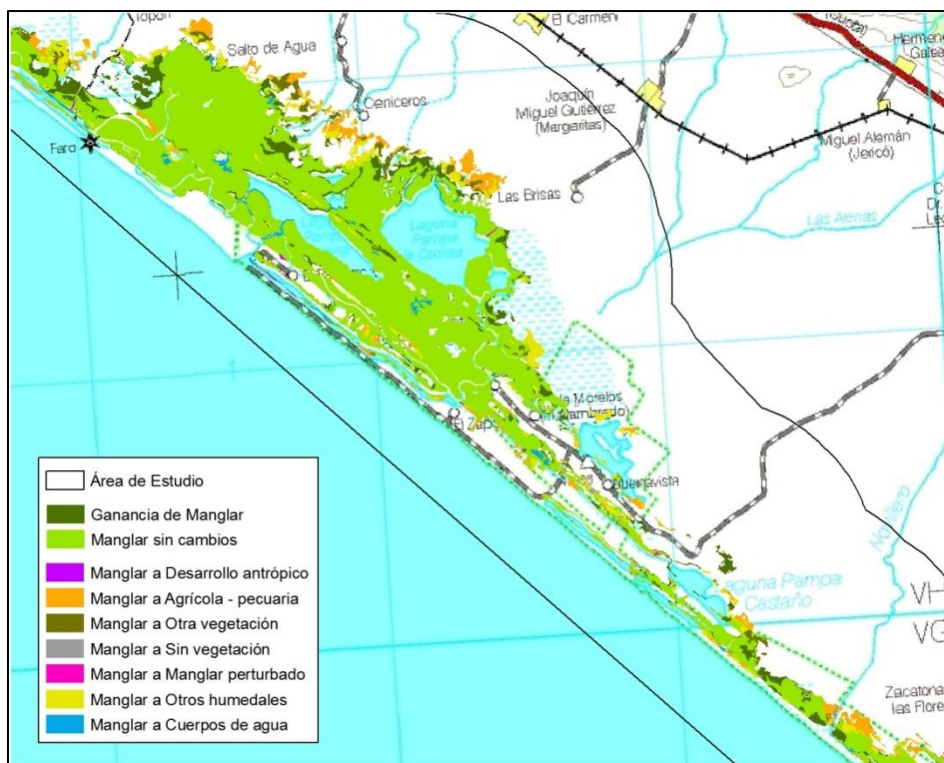


Figura 3.128. Sistema Lagunar Carretas Pereyra, Chiapas. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1972 – 2005.



Figura 3.129. Barra Cahoacán, Chiapas. Ganancias y pérdidas en la cobertura de manglar en el periodo 1972 – 2005.

Tabla 3.100. Detección de cambio (en ha) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Chiapas (1972-2005).

Mapa 1972										
	Clase	1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	1,849.0	2,010.9	624.3	53.9	375.6	0.0	660.3	68.8	5,642.8
	2.- Agrícola - Pecuaria	271.9	110,777.9	29,531.5	195.3	3,214.5	0.0	7,713.2	379.0	152,083.3
	3.- Otra vegetación	14.9	6,932.4	14,780.6	328.9	3,482.6	0.0	2,043.5	103.5	27,686.4
	4.- Sin vegetación	2.5	254.3	229.3	801.7	192.3	0.0	50.5	376.2	1,906.8
	5.- Manglar	3.2	383.2	875.7	9.5	39,075.6	0.0	3,296.5	954.6	44,598.3
	6.- Manglar perturbado	0.0	0.0	0.0	0.0	120.7	0.0	1.9	12.1	134.7
	7.- Otros humedales	15.6	1,891.4	4,750.4	81.7	5,399.4	0.0	29,388.1	840.1	42,366.7
	8.- Cuerpos de agua	11.6	427.5	396.6	557.6	2,040.6	0.0	2,062.9	70,936.8	76,433.6
	Total 1972	2,168.7	122,677.6	51,188.4	2,028.6	53,901.3	0.0	45,216.9	73,671.1	350,852.6
	EL %	85.26	90.30	28.87	39.52	72.49	n.a.	64.99	96.29	
	ER %	160.19	23.97	-45.91	-6.00	-17.26	n.a.	-6.30	3.75	

Nota: n.a.: no aplica; EL: Estabilidad de Localización; ER: Estabilidad de Residencia. La suma total no considera la superficie cubierta por la clase 9, la cual podría presentar sobreposición en ambas fechas. Cartografía digital relacionada: CHP_CC_ccl.shp y CHP_CM_ccl.shp.

Tabla 3.101. Matriz de probabilidades de cambio (en %) del uso del suelo y vegetación en el paisaje de Chiapas (1972-2005).

Mapa 1972										
Clase		1	2	3	4	5	6	7	8	Total 2005
Mapa 2005	1.- Desarrollo antrópico	0.53	0.57	0.18	0.02	0.11	0.00	0.19	0.02	1.62
	2.- Agrícola - Pecuaria	0.08	31.57	8.42	0.06	0.92	0.00	2.20	0.11	43.36
	3.- Otra vegetación	0.00	1.98	4.21	0.09	0.99	0.00	0.58	0.03	7.88
	4.- Sin vegetación	0.00	0.07	0.07	0.23	0.05	0.00	0.01	0.11	0.54
	5.- Manglar	0.00	0.11	0.25	0.00	11.14	0.00	0.94	0.27	12.71
	6.- Manglar perturbado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03
	7.- Otros humedales	0.00	0.54	1.35	0.02	1.54	0.00	8.38	0.24	12.07
	8.- Cuerpos de agua	0.00	0.12	0.11	0.16	0.58	0.00	0.59	20.22	21.78
Total 1972		0.61	34.96	14.59	0.58	15.36	0.00	12.89	21.00	99.99

Nota: el total de las probabilidades no siempre sumará 100 debido al redondeo en las cifras.

Patrones e índices espaciales

En la Tabla 3.102 se muestran los resultados del cálculo de los diferentes índices aplicados a la distribución de manglares en el estado de Chiapas de 1972 a 2005. Se puede observar que el área de manglar se redujo en 9,303 ha y que el número de parches en la Fecha 2 es mayor que en la Fecha 1; al igual que en todos los anteriores estados donde se incrementaba el número de parche para la Fecha 2 se asume que a mayor fragmentación existirá un mayor número de parches. La disminución del área total de manglar debido principalmente al cambio de cobertura a otros humedales ayudó a que el número de parches aumentara a partir de la disgregación y pérdida de los parches más grandes.

Tabla 3.102. Atributos e índices de la clase manglar en el estado de Chiapas.

Fechas	Parches				Frontera		Fragmentación		Conectividad
	AT (ha)	NP	IPM (%)	AP (ha)	IA _L (%)	IA _S (%)	R _c	IF	IIC
F1	53,901	369	38.33	146.07	0.19	0.42	0.56	259.17	0.011
F2	44,598	459	39.22	97.16	0.09	0.43	0.59	164.09	0.007

Nota: F1=Fecha 1; F2=Fecha 2

AT: Área total de Manglar; NP: Número de Parches; IPM: Índice de Parche Mayor; AP: Área promedio de los parches; IA_L: Índice de amenaza por longitud de frontera compartida con clases antrópicas; IA_S: Índice de amenaza por superficie de clases antrópicas adyacentes; R_c: Dispersión de parches; IF: Índice de fragmentación; IIC: Índice Integral de conectividad.

En negrillas se muestra el valor más alto.

El valor más alto obtenido para el índice de parche mayor se encuentra en la Fecha 2 con 39.2 contra 38.3 para la Fecha 1. Es incremento en el valor del índice nos indica que la cobertura de manglar es más propenso a soportar funciones ecológicas importantes relacionadas con las coberturas naturales.

La disminución del área total y el incremento del número de parches de manglar fueron acompañados con una reducción del área promedio de los parches (Tabla 3.102). El valor de diferencia para el AP entre las dos fechas fue de 48.9 ha y esta diferencia es estadísticamente significativa ($p = 0.047$; $Z = 1.990$).

Aproximadamente el 68% de los parches estimados en este análisis presentan un tamaño entre 1 a 10 hectáreas en las dos fechas. Este es el único estado en todo el país que a un análisis del 90% de los fragmentos se encuentran parches mayores a 100 hectáreas para la Fecha 1 (máximo 112 ha), y para la Fecha 2 encontramos que los parches al 90% no sobrepasan las 77 (Figura 3.130). Se encontró que sólo 39 (Fecha 1) y 38 (Fecha 2) parches fueron determinados con superficies mayores a 100 ha. En esta categoría sobresale un parche mayor a 13,700 ha en la Fecha 1 localizado en el área natural protegida La Encrucijada. Para la fecha se mantiene este parche de La Encrucijada como el más extenso con más de 13,500 ha, lo cual hace apreciar una reducción de extensión debido principalmente a las actividades agrícolas-pecuarias que existen en la zona.

El estado de Chiapas muestra una disminución en su índice de amenaza por longitud de frontera entre las Fechas 1 y 2, al pasar de 0.19 a 0.09. Por otra parte, el índice de amenaza por superficies adyacentes casi se mantiene igual, pasando de 0.42 a 0.43. Con casi 20% del perímetro de borde de la clase manglar compartido con actividades antrópicas, durante el periodo comprendido entre la Fecha 1 y 2, se registraron cambios significativos en las zonas de manglar. Si bien el índice de amenaza de borde disminuye para la Fecha 2, las condiciones de incremento en la fragmentación del paisaje, podrían hacer persistir la dinámica de cambios en este ecosistema para los próximos años.

El valor de dispersión de parches (R_c) indica que los parches de manglar para ambas fechas (R_c < 1), presentaron una distribución agregada. Para los valores obtenidos del índice de fragmentación (IF) se observa una reducción en la Fecha 2 (259.2) con relación a la Fecha 1 (164.1), lo que indica una mayor

fragmentación de manglar para el 2005. Sin fines comparativos, se observa que los valores obtenidos del IF para este estado son de los más altos entre las áreas de estudio analizadas a nivel país.

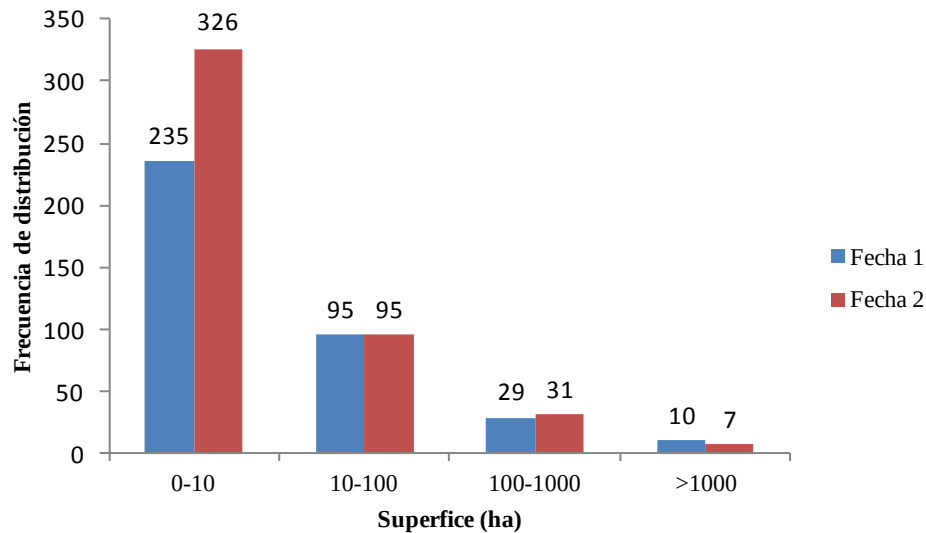


Figura 3.130. Distribución de parches de la clase manglar de acuerdo con su superficie en Chiapas.

De los 369 parches de manglar observados en la Fecha 1 en el estado de Chiapas seis de ellos (en total 34,297 ha) fueron identificados con un Índice Integral de Conectividad (IIC) Alto y Muy Alto, mientras que en la Fecha 2, de los 459 parches de manglar presentes en esa fecha, se lograron identificar ocho parches (en total 26,472 ha) con valor de IIC relevante (Muy alto o Alto) (Figura 3.131 y Mapas 33 y 34 del Anexo 2).

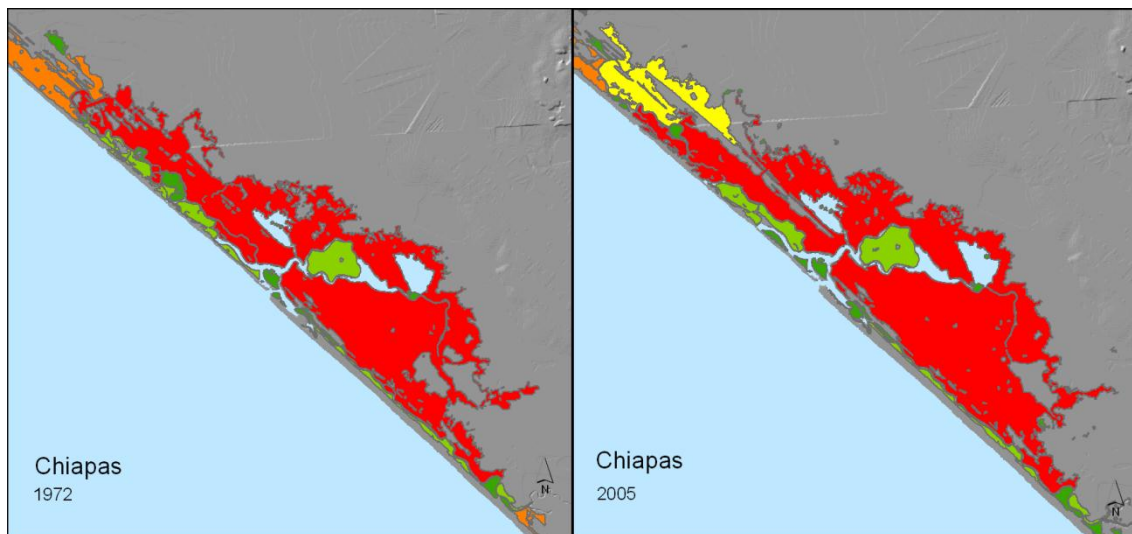


Figura 3.131. Distribución de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Chiapas.

Simbología: Rojo = Muy alto, Naranja = Alto, Amarillo = Medio, Verde claro = Bajo y Verde oscuro = Muy bajo, Gris: Porción terrestre, Azul= Agua

La superficie del parche con valor más alto de IIC para la Fecha 1 fue de 13,739 ha, mientras que para la Fecha 2, la superficie del parche con valor más alto de IIC fue de 13,207 ha, el cual se encuentra ubicado

en el área protegida La Encrucijada (Figura 3.132). En este caso se registró una disminución de 532 ha de la superficie total de manglar del parche con mayor valor de IIC, principalmente hacia la parte norte del parche. Aunado a esto, el total de la superficie de manglar con un valor Muy alto o Alto de IIC en general disminuyó 7,825 ha; todo esto sugiere la baja aplicación de medidas adecuadas para la conservación y rehabilitación del ecosistema de manglar en algunas partes del estado.

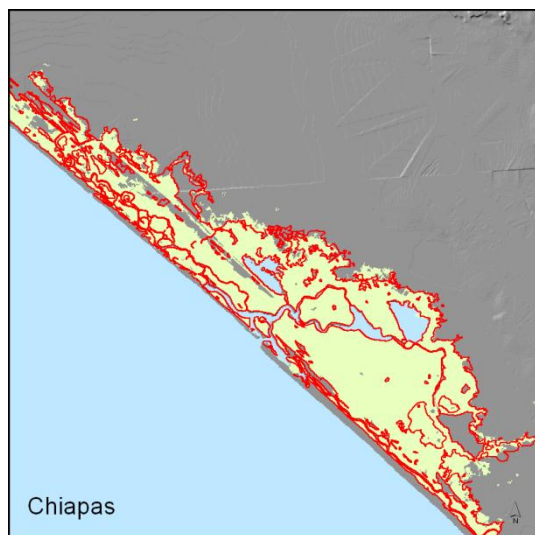


Figura 3.132. Superposición de los parches con mayor índice integral de conectividad para las dos fechas de análisis en el estado de Chiapas.

Simbología: Contorno rojo = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 1, Verde = Parche de mayor índice integral de conectividad en la Fecha 2, Gris: Porción terrestre, Azul = Agua.

Exploración de parámetros biofísicos y estimación de biomasa vegetal en los manglares de Laguna Pom Atasta, Campeche y Laguna Agua Brava, Nayarit

Exploración de parámetros biofísicos NDVI, EVI y LAI a partir de series de tiempo de productos MODIS

Manejo de calidad en la generación de series de tiempo y criterios para la interpolación de compuestos

Todos los productos terrestres de MODIS cuentan con una evaluación de calidad en sus píxeles (Roy *et al.* 2002). La evaluación de calidad de los píxeles MODIS depende del producto y está estrechamente relacionado con su utilidad y grado de certidumbre. Por ejemplo, para índices de vegetación se presentan las opciones de calidad general del píxel, la presencia/ausencia de aerosoles, factores de corrección atmosférica, presencia/ausencia de nubes y presencia/ausencia de ciertas coberturas que pueden afectar la firma espectral, como hielo, nieve o agua (Huete *et al.* 2002). La evaluación de la calidad en los píxeles es de importancia crítica en estudios de cambio climático, monitoreo de funcionalidad, productividad de ecosistemas, entre otros (Huete *et al.* 2002, Knyazikhin *et al.* 1999).

La evaluación de calidad seleccionada para cada producto MODIS se presenta en las Tablas 3.103 y 3.104 para Laguna Pom Atasta, Campeche y Laguna Agua Brava, Nayarit, respectivamente.

Para seleccionar la evaluación requerida en los productos MODIS se consideró que ésta fuera de buena a aceptable; otro factor importante fue que la condición de nubosidad fuera lo más baja o nula.

La selección de la calidad en cada uno de los píxeles MODIS permite considerar la mejor información contenida en cada compuesto, así, con esta información es posible enmascarar píxeles que no cuentan con la calidad necesaria para realizar la interpolación, además de minimizar la generación de artefactos en la respuesta temporal de las coberturas bajo análisis (Roy *et al.* 2002).

En general para las dos áreas de estudio las evaluaciones de calidad fueron similares, la principal diferencia se muestra en la selección de ausencia de sombras para el producto LAI en Laguna Agua Brava, Nayarit, que en conjunto con la selección del resto de las características para dicho producto, la evaluación se puede considerar como estricta. Para Laguna Pom Atasta, Campeche, se realizaron pruebas donde se seleccionó el criterio de ausencia de sombras, sin embargo las interpolaciones perdían el patrón de respuesta de las coberturas bajo análisis, motivo por el cual esta característica no fue considerada para el sitio de Campeche.

Tabla 3.103. Evaluación de calidad para productos MODIS en Laguna Pom Atasta, Campeche.

Producto MODIS	Características de calidad y valores seleccionados
MOD13Q1-NDVI	- Calidad general: buena, aceptable - Utilidad: perfecta, alta, buena, aceptable - Mezcla de nubes: no - Hielo/Nieve: no - Sombras: no - Confiabilidad: buena
MOD13Q1-EVI	- Calidad general: buena, aceptable - Utilidad: perfecta, alta, buena, aceptable - Mezcla de nubes: no - Hielo/Nieve: no - Sombras: no - Confiabilidad: buena
MOD15A2-LAI	- Calidad general: buena - Detector de fallas: buena - Estado de nubosidad: buena - Método usado: físico perfecto y físico saturado - Nieve: no - Nubes de cirrus: no - Nubes: no

Tabla 3.104. Evaluación de calidad para productos MODIS en Laguna Agua Brava, Nayarit.

Producto MODIS	Características de calidad y valores seleccionados
MOD13Q1-NDVI	- Calidad general: buena, aceptable - Utilidad: perfecta, alta, buena, aceptable - Mezcla de nubes: no - Hielo/Nieve: no - Sombras: no - Confiabilidad: buena
MOD13Q1-EVI	- Calidad general: buena, aceptable - Utilidad: perfecta, alta, buena, aceptable - Mezcla de nubes: no - Hielo/Nieve: no - Sombras: no - Confiabilidad: buena
MOD15A2-LAI	- Calidad general: buena - Detector de fallas: buena - Estado de nubosidad: buena - Método usado: físico perfecto y físico saturado - Nieve: no - Nubes de cirrus: no - Nubes: no - Sombra: no

Para realizar la interpolación de los compuestos en el programa TiSeg, es importante considerar dos factores: el número de píxeles inválidos y la longitud máxima de huecos en la serie. La identificación de píxeles inválidos y huecos en la serie, se realizó a partir de la evaluación de calidad en cada producto MODIS, posteriormente se llevó a cabo el proceso de interpolación. En la Tabla 3.105 se presentan los criterios que se definieron para la interpolación de los diferentes productos MODIS en las áreas de estudio.

Tabla 3.105. Criterios para interpolaciones lineales de productos MODIS en las áreas de estudio.

Producto MODIS	Laguna Pom Atasta, Campeche.	Laguna Agua Brava, Nayarit.
MOD13Q1-NDVI	- Longitud máxima de huecos en la serie de tiempo: 35 - Valor para rellenar píxeles inválidos: -3000 - Mínimo de píxeles con la calidad identificada: 3 - En caso de que los píxeles no cumplan con la características: considerar el valor original del píxel	- Longitud máxima de huecos en la serie de tiempo: 35 - Valor para rellenar píxeles inválidos: -3000 - Mínimo de píxeles con la calidad identificada: 3 - En caso de que los píxeles no cumplan con la características: considerar el valor original del píxel
MOD13Q1-EVI	- Longitud máxima de huecos en la serie de tiempo: 35 - Valor para rellenar píxeles inválidos: -3000 - Mínimo de píxeles con la calidad identificada: 3 - En caso de que los píxeles no cumplan con la características: considerar el valor original del píxel	- Longitud máxima de huecos en la serie de tiempo: 35 - Valor para rellenar píxeles inválidos: -3000 - Mínimo de píxeles con la calidad identificada: 3 - En caso de que los píxeles no cumplan con la características: considerar el valor original del píxel
MOD15A2-LAI	- Longitud máxima de huecos en la serie de tiempo: 70 - Valor para rellenar píxeles inválidos: 255 - Mínimo de píxeles con la calidad identificada: 3 - En caso de que los píxeles no cumplan con la características: considerar el valor original del píxel	- Longitud máxima de huecos en la serie de tiempo: 70 - Valor para rellenar píxeles inválidos: 255 - Mínimo de píxeles con la calidad identificada: 3 - En caso de que los píxeles no cumplan con la características: considerar el valor original del píxel

Para los compuestos MOD13Q1 en Laguna Pom Atasta, Campeche, el número de píxeles inválidos identificados por año fue de 7 a 17, mientras que el 80% de los datos se interpoló con una longitud máxima de 7 a 8 huecos para toda la escena; para la cobertura sólo de manglar la longitud máxima de huecos por año fue de 2 a 4 compuestos. En lo que respecta al producto MOD15A2, el número de píxeles inválidos fue de 20 a 30; el 80% de los datos se interpoló con una longitud máxima de 12 huecos, mientras que para la cobertura de manglar la longitud máxima fue de 2 a 6 compuestos anuales.

Para los compuestos MOD13Q1 en Laguna Agua Brava, Nayarit, el número máximo de píxeles inválidos en una serie de tiempo fue de 8 a 13, el 80% de los datos se interpoló con una longitud máxima 12 huecos para toda la escena. Solo para la cobertura de manglar, la longitud máxima de huecos fue de 4 a 6 compuestos anuales. Para el producto MOD15A2 el número de píxeles inválidos fue de 20 a 30, la longitud máxima de huecos fue de 11 compuestos anuales para toda la escena, mientras que para la cobertura de manglar la longitud máxima de huecos fue de 7 compuestos anuales.

Series de tiempo para el sitio Laguna Pom Atasta, Campeche

Los resultados de series de tiempo se presentan como un análisis general de toda el área de estudio, con la finalidad de identificar la respuesta temporal de las coberturas presentes durante el periodo. Posteriormente se muestran las series de tiempo sólo para las coberturas de manglar y otros humedales.

En la Figura 3.133a se muestra el área de estudio para el análisis de series de tiempo en Laguna Pom Atasta, Campeche, en una imagen SPOT 5 del año 2005. En la Figura 3.133b se muestra el uso de suelo y vegetación en el área de estudio; la superficie total de esta imagen fue de 146,300 ha, de las cuales 1,181 ha (0.81 %) corresponden a desarrollos urbanos; 10,656 ha (7.28 %) coberturas agrícolas-pecuarias; 5,858 ha (4.00 %) coberturas vegetales leñosas diferentes a manglar; 78 ha (0.05 %) zonas sin vegetación aparente; 39,848 ha (27.23 %) cobertura de manglar; 56,419 ha (38.56 %) otros humedales y 32,260 ha (22.05 %) agua.

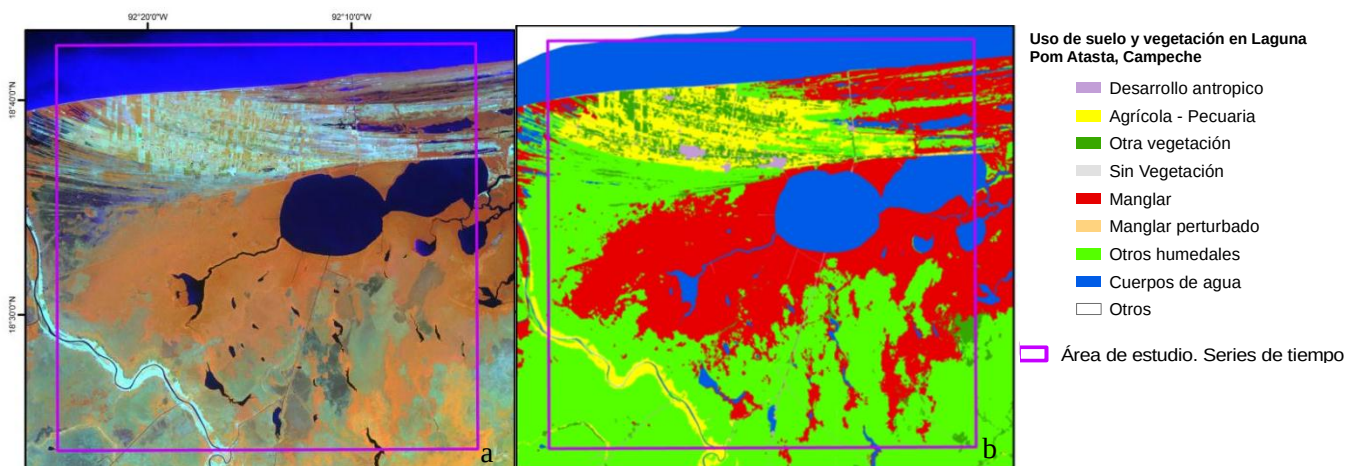


Figura 3.133. a) Área de estudio para series de tiempo, imagen SPOT 5 del año 2005; b) Uso de suelo y vegetación en Laguna Pom Atasta, Campeche.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

El índice de vegetación de diferencia normalizada en su forma continua fue desarrollado en 1978 por Deering (Huete *et al.* 1999), inicialmente se utilizaba para monitorear la condición y los cambios en el desarrollo fenológico de cultivos. Sin embargo actualmente también se utiliza para monitorear la condición y los cambios en diferentes tipos de vegetación, además de que se ha demostrado que los valores de este índice se encuentran estrechamente relacionados con la productividad foliar y las absorciones de radiación fotosintéticamente activa (Zhao *et al.* 2009). Debido a estas características, el índice de vegetación es empleado para modelos en ciclos biogeoquímicos, productividad primaria, evapotranspiración, entre otros (Zhao *et al.* 2009, Huete *et al.* 2002).

En la Figura 3.134 se muestra la serie de tiempo de NDVI para toda la escena de Laguna Pom Atasta, con compuestos interpolados y sin interpolar. En lo que respecta a la serie de tiempo con compuestos interpolados, ésta presenta un patrón estacional con valores que oscilan entre 0.484 y 0.622. En esta serie durante el mes de septiembre los valores de NDVI comienzan a incrementarse llegando a su punto máximo en los meses de noviembre-diciembre, meses durante los cuales ya ha terminado la época de lluvias y se presenta la época de nortes (INE 1997). Por otra parte, los valores mínimos de precipitación se presentan de febrero a mayo, coincidiendo este periodo con la respuesta más baja en los valores de NDVI, esta situación puede llegar a provocar que cierto tipo de vegetación como la herbácea, se pierda temporalmente o llegue a entrar en un estado de estrés. Es importante mencionar que entre mayores sean los valores de NDVI, se considera que la vegetación está más desarrollada y con mayor verdor, por el

contrario conforme los valores disminuyen se considera que la vegetación se encuentra en estado de estrés, es senescente o incluso se trata de otras coberturas (Chuvienco 2006).

Por otra parte, en lo que respecta a la serie de tiempo con compuestos sin interpolar, el patrón de estacionalidad también se mantiene constante, sin embargo en esta serie se presentan cambios fuertes en algunos compuestos (Figura 3.134). Estos cambios pueden deberse a la baja calidad que de origen pudieron presentar los píxeles MODIS.

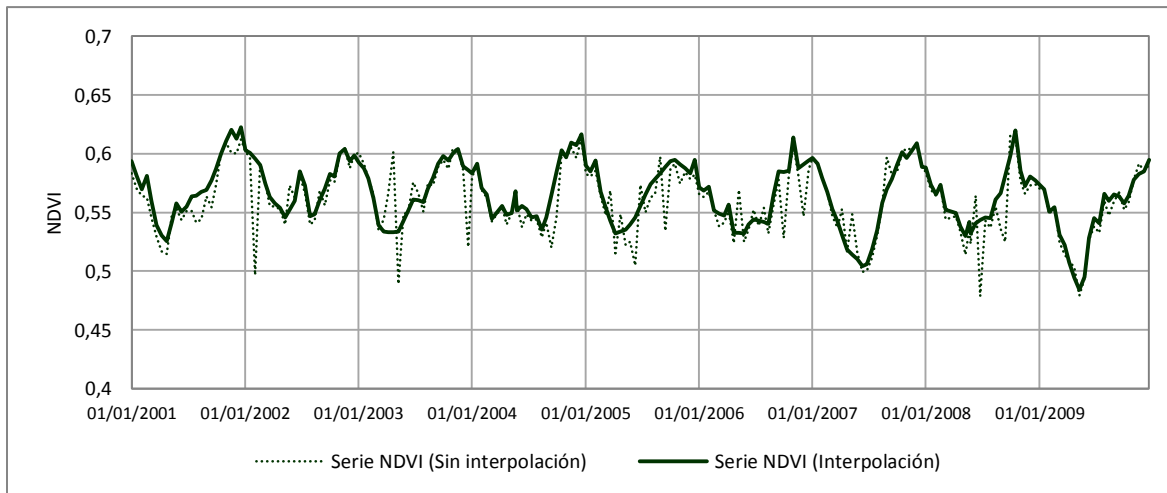


Figura 3.134. Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio de escena completa (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación).

El NDVI es utilizado para construir perfiles estacionales y temporales de la actividad de la vegetación, permitiendo comparaciones interanuales entre ellos. Los perfiles temporales de NDVI están relacionados con la actividad fenológica, la razón de la longitud de crecimiento, el inicio de verdor, el pico de verdor y los cambios estacionales (Huete *et al.* 2002). Así, la identificación de las firmas temporales de las superficies de estudio deberá de ser constante durante el tiempo, en caso de no haber cambios en la cobertura de análisis o en su condición. En este sentido la identificación de una firma temporal (sobre cierto índice o valor), permite el monitoreo de ésta a través del tiempo.

En la Figura 3.135 se presenta la firma temporal de NDVI para las coberturas de manglar y otros humedales en Laguna Pom Atasta. Se observa que a pesar de que los manglares se consideran como vegetación perenne, la respuesta de la serie de tiempo es estacional. Dicha estacionalidad puede estar relacionada con los efectos de la precipitación pluvial en el área, la cual facilitaría un incremento en el aporte de nutrientes y sedimentos al ecosistema, favoreciendo las condiciones de desarrollo y verdor de la vegetación.

Los valores de NDVI para la cobertura de manglar durante el periodo de estudio fueron entre 0.798 y 0.906, con un valor promedio de 0.862. El valor más bajo se presentó el 25 de mayo de 2009 y el más alto el 3 de diciembre de 2001. El patrón de respuesta de la cobertura de manglar durante el periodo de estudio se debe a la estacionalidad, donde el cambio más notable se presentó entre el año 2005 a 2006 (Figura 3.135). Tal cambio pudo estar relacionado con la actividad ciclónica durante el año 2005 en el Atlántico Norte, considerada la más activa de los últimos 50 años (Rosengaus y Hernández-Unzon 2005).

En Laguna Pom Atasta no se registró el impacto directo de fenómenos meteorológicos durante el 2005, sin embargo la zona fue afectada por el huracán Emily del 11 al 20 de julio, el huracán Stan del 1 al 5 de octubre y la tormenta tropical Gert del 23 al 25 de julio. Estos factores pudieron haber provocado afectaciones en las copas de los árboles y fustes, incluso la pérdida de dosel, ramas y caída de árboles.

Posiblemente debido a estas condiciones se puede observar una ligera disminución en el NDVI de la serie de tiempo de manglar entre el año 2005 a 2006.

También en la Figura 3.135 se presenta la serie de tiempo para la cobertura de otros humedales, como se puede observar dicha cobertura también presenta un patrón de respuesta relacionado con la estacionalidad. En este sitio los otros humedales se caracterizan por la presencia de vegetación herbácea hidrófila, fuertemente enraizada y susceptible de afectación por el patrón estacional de lluvias. El valor mínimo y máximo de NDVI para otros humedales osciló entre 0.584 y 0.743, con un valor promedio de 0.672.

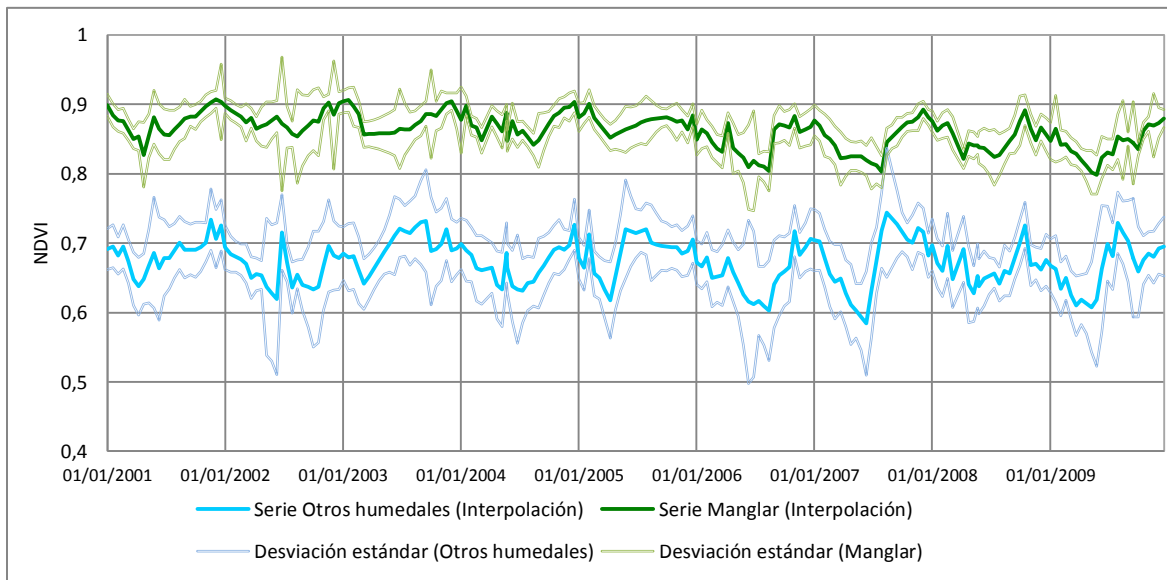


Figura 3.135. Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio y desviación estándar de las coberturas de manglar y otros humedales (compuestos con interpolación lineal).

Serie de tiempo para el Índice de Vegetación Mejorado

El Índice de Vegetación Mejorado (EVI) fue desarrollado para incrementar la sensibilidad de respuesta en áreas con alta cantidad de biomasa, con la finalidad de evitar la saturación del índice y la subestimación de valores, además de reducir la influencia atmosférica (Huete *et al.* 2002).

En la Figura 3.136 se muestra la firma temporal de EVI para Laguna Pom Atasta; a diferencia de la firma temporal obtenida con el NDVI, ésta no presenta una periodicidad homogénea y constante, que directamente se relacione con la estacionalidad en la zona. El valor mínimo de EVI en la serie fue de 0.269 y se presentó el 17 de enero de 2007, el máximo de 0.364 y se presentó el día 28 de agosto de 2004, el promedio de EVI fue de 0.315.

La serie de tiempo de EVI para la cobertura de manglar durante el periodo de estudio presentó un valor mínimo de 0.436 y un máximo de 0.654, con un valor promedio de 0.535. Los picos más altos de valores se presentaron durante los meses de mayo-agosto de 2004 (Figura 3.137). Esta serie de tiempo no presentó una estacionalidad marcada como la obtenida con el NDVI para la cobertura de manglar, posiblemente debido a una mayor sensibilidad del índice para detectar la condición y los cambios en vegetación densa (Huete *et al.* 2002).

A pesar que la respuesta de EVI para la cobertura de manglar no muestra una relación directa con la estacionalidad, se puede observar que también a partir del año 2005 se presenta una ligera disminución en los valores de EVI, este cambio podría relacionarse con los fenómenos meteorológicos descritos anteriormente. Sin embargo, por otra parte, el EVI también nos podría estar arrojando patrones de

respuesta a variables que se presentan a menor escala temporal y espacial, como el cambio en el aporte de nutrientes o en los patrones de salinidad, que favorecen o afectan el desarrollo de la vegetación de manglar; desafortunadamente no se cuenta con registros históricos del monitoreo de estas variables en la zona.

También en la Figura 3.137 se presenta la serie de tiempo para otros humedales. Para esta serie el valor mínimo fue de 0.256 y el máximo de 0.462, con un valor promedio de 0.349. Como se puede observar esta cobertura tampoco presentó una respuesta estacional directa.

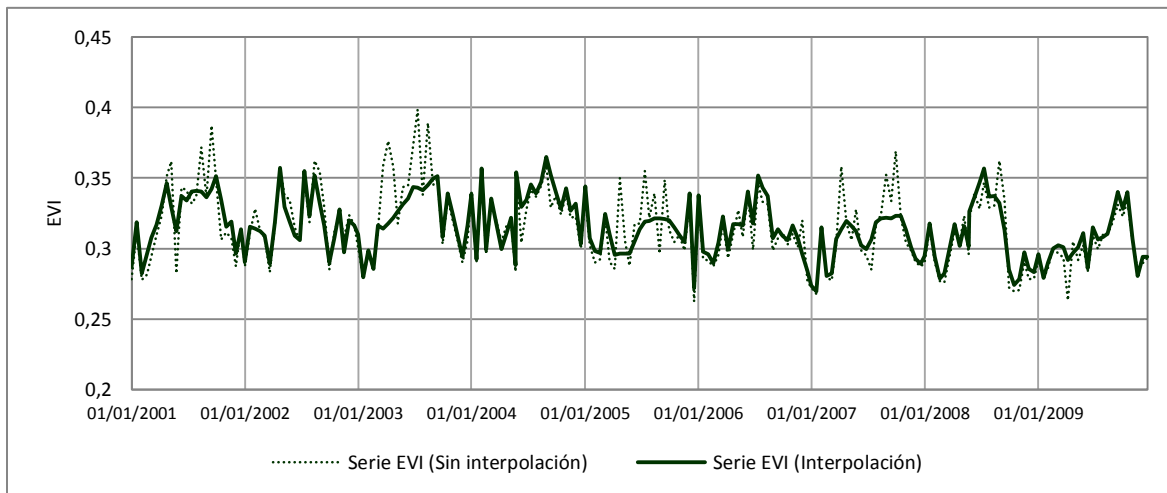


Figura 3.136. Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio de escena completa (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación).

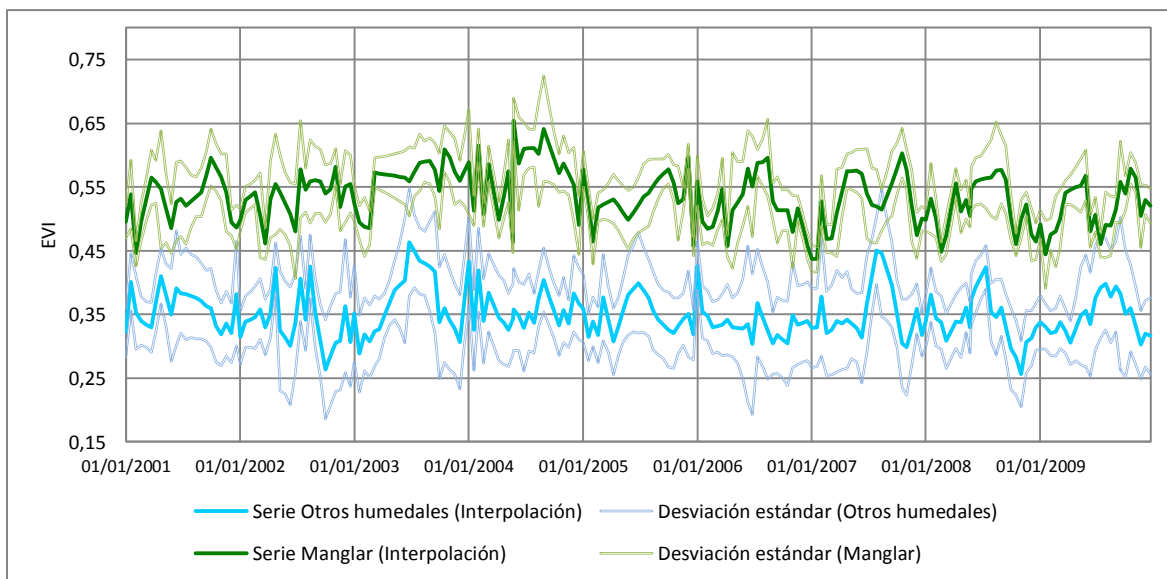


Figura 3.137. Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio y desviación estándar de las coberturas de manglar y otros humedales (compuestos con interpolación lineal).

La respuesta de las series de tiempo para la vegetación de manglar con el NDVI y EVI no es idéntica ni presenta el mismo patrón de comportamiento. Esta situación podría relacionarse con la sensibilidad de los índices para detectar las condiciones de la vegetación. En este sentido, el NDVI nos permite identificar patrones de respuesta relacionados con la estacionalidad, y el EVI podría permitir identificar patrones de respuesta a factores que no están relacionados directamente con la estacionalidad, como el aporte de

nutrientes o la influencia de la salinidad, que son factores que se presentan a escalas menores pero constantes, y que de igual forma influyen en la condición de la vegetación y su desarrollo.

Se ha documentado que el NDVI se satura cuando la vegetación es densa con presencia de biomasa foliar alta. Esta saturación se debe a la naturaleza de formulación no lineal del índice, basada en el radio que se obtiene entre las banda infrarroja cercana y banda roja (Infrarroja cercana/roja), provocando una respuesta asintótica (saturada) de la señal a altas concentraciones de biomasa (Huete, 1988).

Índice de Área Foliar

El Índice de Área Foliar es uno de las variables biofísicas más importantes para la caracterización funcional y fenológica de la vegetación, se encuentra estrechamente relacionado con procesos ecofisiológicos como la fotosíntesis, la transpiración, la evapotranspiración y la productividad primaria neta de un ecosistema (Jiang *et al.* 2010).

En la Figura 3.138 se muestra la serie de tiempo de LAI para toda la escena de Laguna Pom Atasta, Campeche, como se puede observar hay una fuerte diferencia entre la serie de tiempo con compuestos interpolados y los compuestos sin interpolar, principalmente cuando los valores de LAI disminuyen.

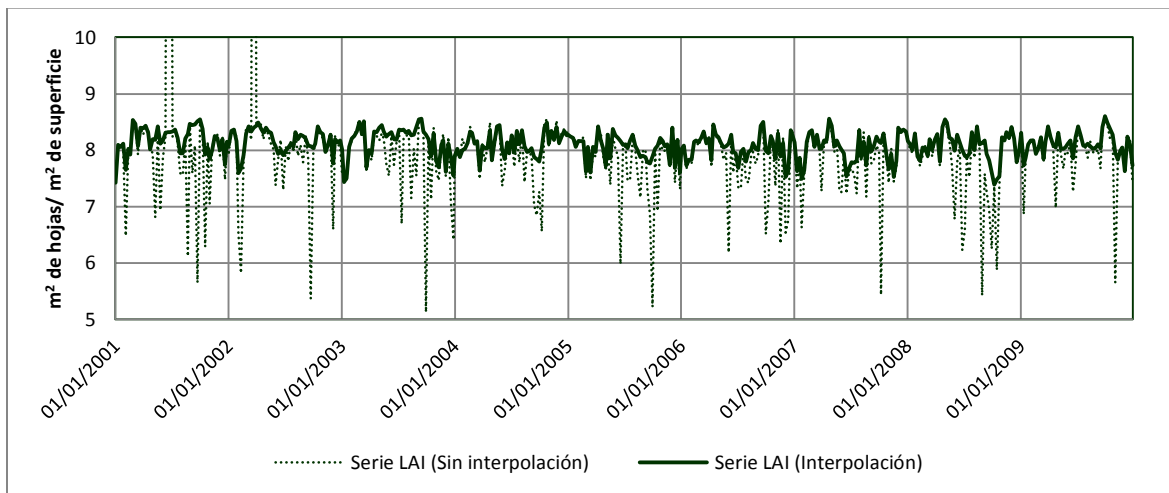


Figura 3.138. Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio de escena completa (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación).

En la Figura 3.139 se presentan las series de tiempo de LAI para las coberturas de manglar y otros humedales (promedio y desviación estándar). En lo que respecta a la cobertura de manglar el valor mínimo durante el periodo de estudio fue de 1.572 y se presentó el día 2 de febrero de 2002, mientras que el máximo fue de 5.183 y se presentó el día 2 de diciembre de 2008; el valor promedio fue de 3.215. Para la cobertura de otros humedales el valor mínimo fue de 1.695 y el máximo de 4.045, con un valor promedio de 2.863.

La serie de tiempo para la cobertura de manglar fue ruidosa, sin embargo es posible observar algunos patrones, por ejemplo a finales de cada año se presenta una disminución de la respuesta de LAI, mientras que a principios de año (cerca del mes de marzo) se presenta un incremento en la respuesta. También es posible observar que del año 2005 al 2009, los valores de LAI incrementan ligeramente respecto a los años anteriores, de manera que en esta parte de la serie se presenta un cambio en el patrón de respuesta inverso al cambio que se presentó con el NDVI en la misma cobertura. Se esperaría que los cambios que

se pudieran presentar tanto en NDVI como LAI fuera proporcionales, debido a las características que identifican en la vegetación, sin embargo en este análisis no mostraron un patrón similar.

Esta situación podría estar relacionada con la respuesta de la vegetación de manglar a disturbios. Se ha documentado que la vegetación responde de manera eficiente y rápida a disturbios naturales, presentando un mayor y rápido crecimiento debido al incremento de recursos (Sheil y Burslem 2003). En manglares se ha documentado que los huecos en el dosel por muerte de árboles, huracanes o extracción de madera, favorecen el desarrollo de los individuos bajo el dosel, debido principalmente al acceso de recursos, como la luz (Walters 2005, Pinzón *et al.* 2003, Benfield *et al.* 2005, Feller y McKee 1999). Es importante considerar que el ruido que se observa en la serie de tiempo, también puede estar relacionado con el tamaño de pixel del producto LAI, ya que a 1 km hay menor detalle y mayor heterogeneidad en la información.

En la Figura 3.139 se puede observar que en algunos momentos las series de tiempo para manglar y otros humedales se llegan a traslapar; esta respuesta puede relacionarse con que el LAI identifica el área foliar en una superficie, y a pesar de que ambas coberturas no presenten la misma estructura foliar, pueden estar cubriendo la misma superficie.

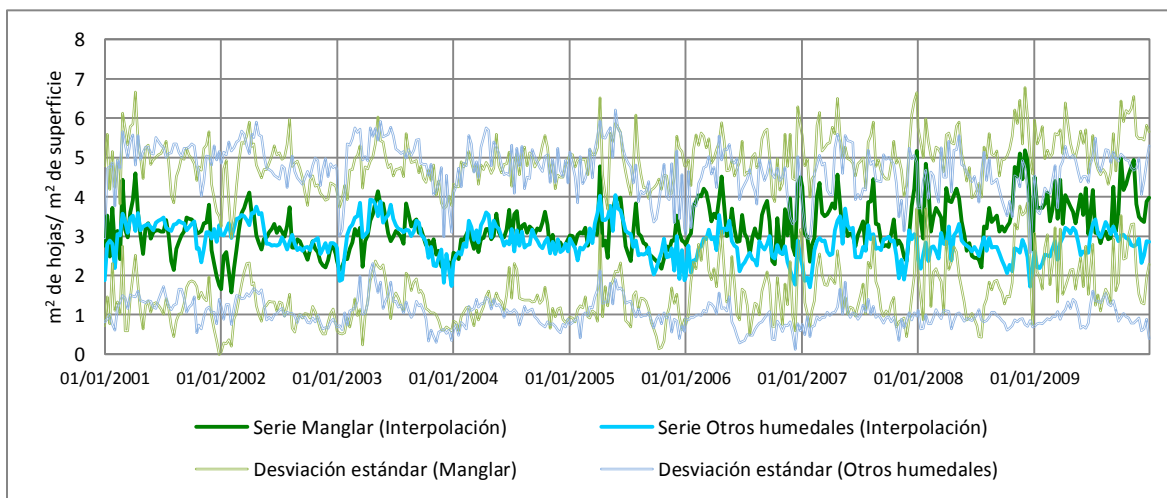


Figura 3.139. Serie de tiempo para Laguna Pom Atasta, Campeche. Promedio de las cobertura de manglar y otros humedales (compuestos con interpolación lineal).

Series de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit.

El área de estudio seleccionada para Laguna Agua Brava, Nayarit, se muestra en la Figura 3.140a. La extensión total del área fue 140,600 ha, de las cuales 39,220 (28 %) corresponden a cobertura agrícola-pecuaria-vegetación leñosa diferente al manglar; 2,696 ha (2 %) desarrollo antrópico; 45,039 ha (32 %) manglar; 2,993 ha (2 %) manglar muerto; 11,076 ha (8 %) otros humedales; 252 ha (menor a 0.1 %) áreas sin vegetación aparente y 39,324 (28 %) agua (Figura 3.140b).

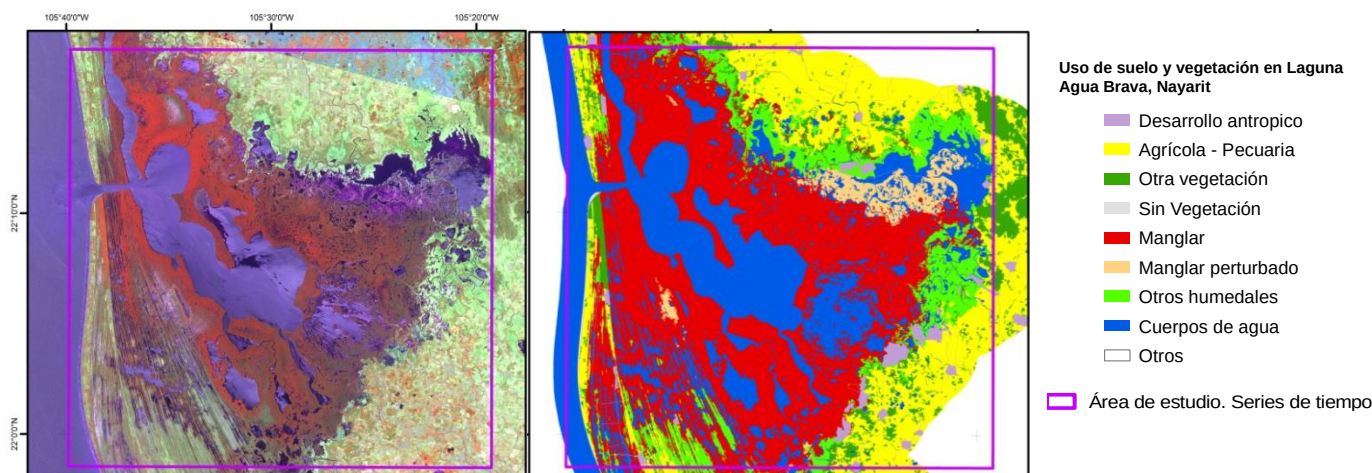


Figura 3.140. a) Área de estudio para series de tiempo, imagen SPOT 4 del año 2004; b) uso de suelo y vegetación en Laguna Agua Brava, Nayarit.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

El patrón del NDVI en las series de tiempo para Laguna Agua Brava está relacionado con la estacionalidad. En la Figura 3.141 se presenta la serie de tiempo de NDVI para toda la escena, en ésta se pueden observar ciclos bimodales de respuesta, posiblemente debido al uso de suelo, ya que en la zona hay cultivos de riego entre los que destacan el tabaco, sorgo y calabaza. En esta serie de tiempo el incremento en los valores de NDVI comenzó en el mes de julio con dos picos de respuesta, cerca del mes de noviembre se presentó una disminución de los valores, mientras que el valor más bajo de toda la serie se presentó el mes de mayo de cada año.

En lo que respecta a la respuesta de la cobertura de manglar en la zona, en la Figura 3.142 se puede observar que la respuesta del índice está relacionada con la estacionalidad de forma unimodal. Como ya se mencionó anteriormente, la vegetación de manglar es considerada como perenne, sin embargo se puede ver favorecida por la estacionalidad, principalmente con la precipitación pluvial, el aporte de nutrientes y sedimentos. El valor mínimo de NDVI para la cobertura manglar durante el periodo de estudio fue de 0.623 y se presentó el día 8 de mayo de 2008, mientras que el valor máximo fue de 0.855 y se presentó el 1 de noviembre de 2006; el valor promedio fue de 0.766.

Para la cobertura identificada como “otras coberturas”, el valor mínimo de la serie fue de 0.325, el máximo de 0.767 y el promedio de 0.550; así, como se puede observar en la Figura 3.142 esta cobertura presentó un patrón estacional bimodal, posiblemente relacionado a que en la zona hay cultivos de riego, entre los que destacan el de tabaco, sorgo y calabaza.

Es importante considerar que Laguna Agua Brava se encuentra en una zona donde la época de lluvias es marcada, con incrementos de precipitación durante los meses de junio a octubre, cuando se presenta cerca del 94.6 % de la precipitación de todo el año, y con una estación seca de noviembre a mayo, cuando se

presenta el 5.4% de la precipitación restante (UAN 2000, en *Mangrove Environmental Protection Group* 2001).

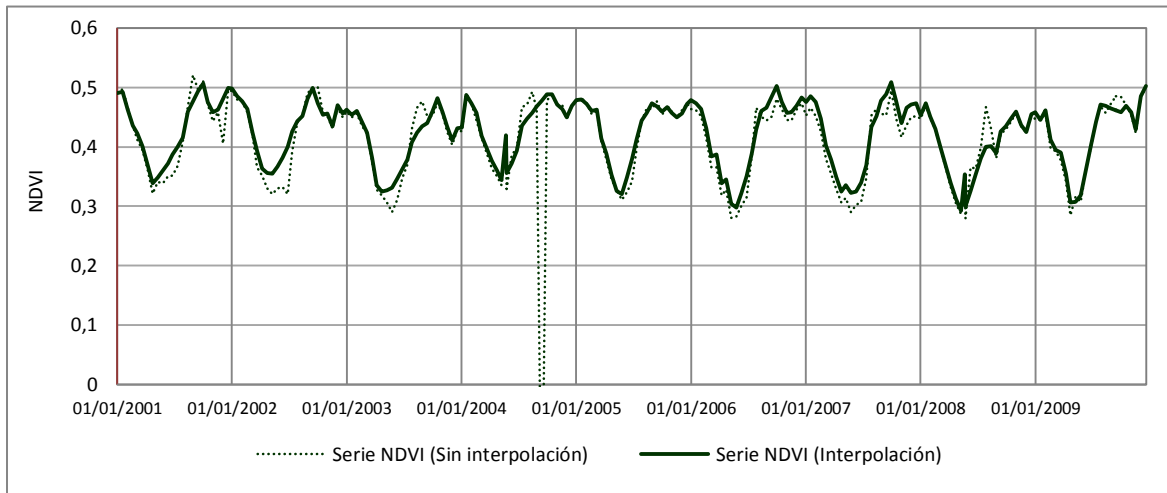


Figura 3.141. Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de escena completa (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación).

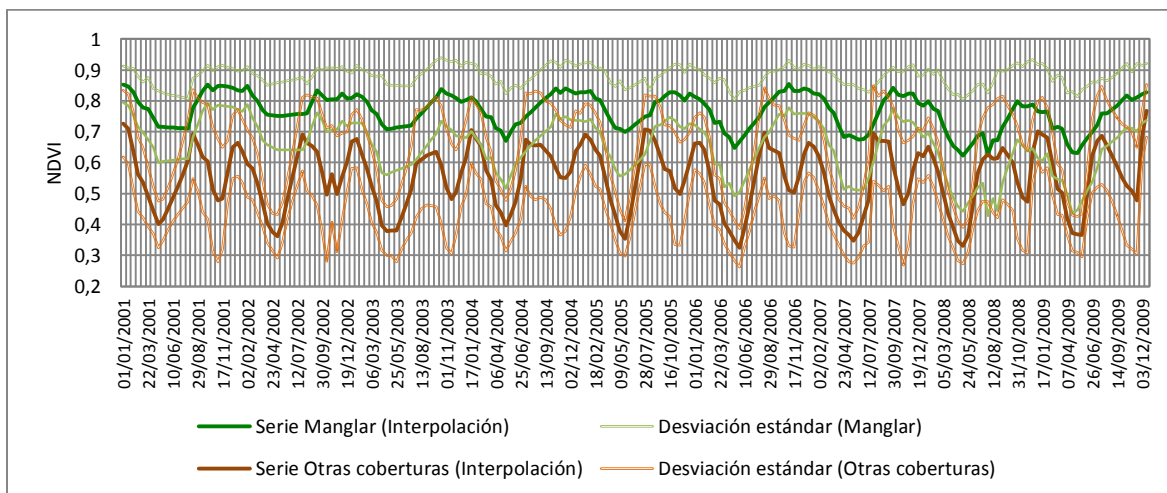


Figura 3.142. Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de las cobertura de manglar y otras coberturas (compuestos con interpolación lineal).

Índice de Vegetación Mejorado

Las series de tiempo obtenidas con el EVI para Laguna Agua Brava, Nayarit, también presentaron un patrón de respuesta relacionado con la estacionalidad. En la Figura 3.143 se puede observar que la serie de tiempo obtenida de compuestos EVI sin interpolar es más ruidosa y discontinua que la obtenida de compuestos interpolados. En lo que respecta a la serie de tiempo con compuestos interpolados, el valor mínimo fue de 0.154 y el máximo de 0.274, y el promedio de 0.216.

En lo que respecta a la serie de tiempo de EVI sólo para la cobertura de manglar, el valor mínimo fue de 0.356 y se presentó el día 23 de abril de 2009, el máximo de 0.491 y se presentó el día 30 de septiembre de 2001. El valor promedio fue de 0.422. Como se puede observar en la Figura 3.144, la respuesta de la cobertura de manglar durante el periodo de estudio también presentó un patrón estacional.

Durante el periodo de estudio sólo dos huracanes y una tormenta tropical han afectado la zona, éstos han sido el huracán Lane categoría III (13-17 de septiembre de 2006), la tormenta tropical Norman (8 al 15 de octubre de 2006) y el huracán Rick categoría V (15 al 21 de octubre de 2009) (SMN, 2010). Ninguno de estos eventos presentó un efecto sobre la serie de tiempo de la cobertura de manglar.

También en la Figura 3.144 se presenta la serie de tiempo para otras coberturas, como se puede observar en esta serie también se vuelve a presentar el patrón estacional bimodal. El valor mínimo de la serie fue de 0.216, el máximo de 0.512 y el promedio de 0.355.

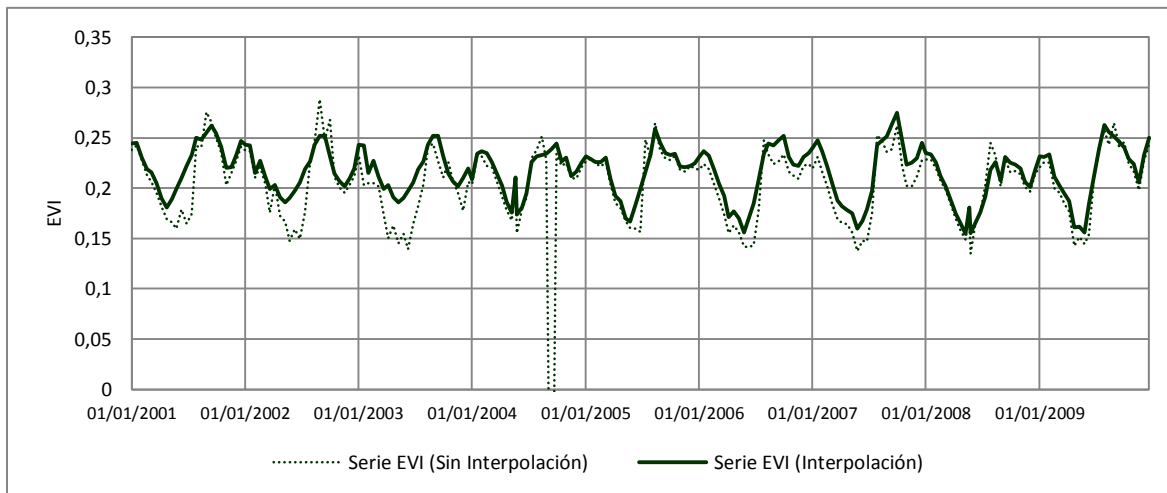


Figura 3.143. Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de escena completa (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación).

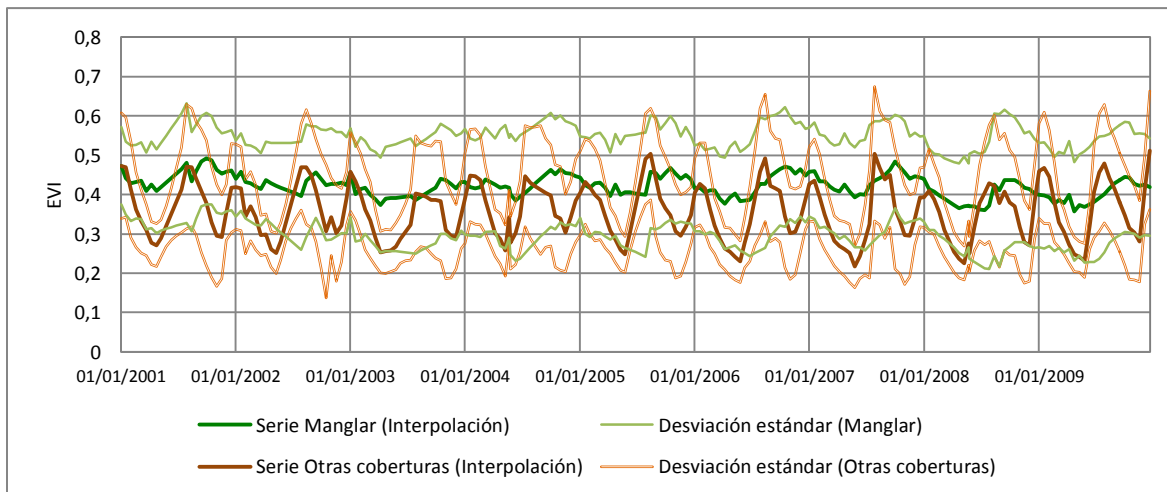


Figura 3.144. Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de las coberturas de manglar y otras coberturas (compuestos con interpolación lineal).

En lo que respecta al uso del NDVI y EVI para la generación de series de tiempo en Laguna Agua Brava Nayarit, ambos índices presentaron sensibilidad para identificar el patrón estacional de la cobertura de manglar, sin embargo ninguno de los índices permitió identificar cambios en la condición de la vegetación que no fueran consecuencia de patrones estacionales. Para las otras coberturas, ambos índices mostraron una mayor sensibilidad para detectar cambios estacionales bimodales, patrones que necesariamente están relacionados con las principales etapas de crecimiento y cosecha de cultivos de riego.

Índice de Área Foliar

En la Figura 3.145 se presentan las series de tiempo de LAI obtenidas con compuestos interpolados y sin interpolar. En la serie obtenida con compuestos sin interpolar se observa que entre los años 2001 y 2002, 2002 y 2003, dos compuestos no presentan valores, de manera que su pierde la continuidad en la serie.

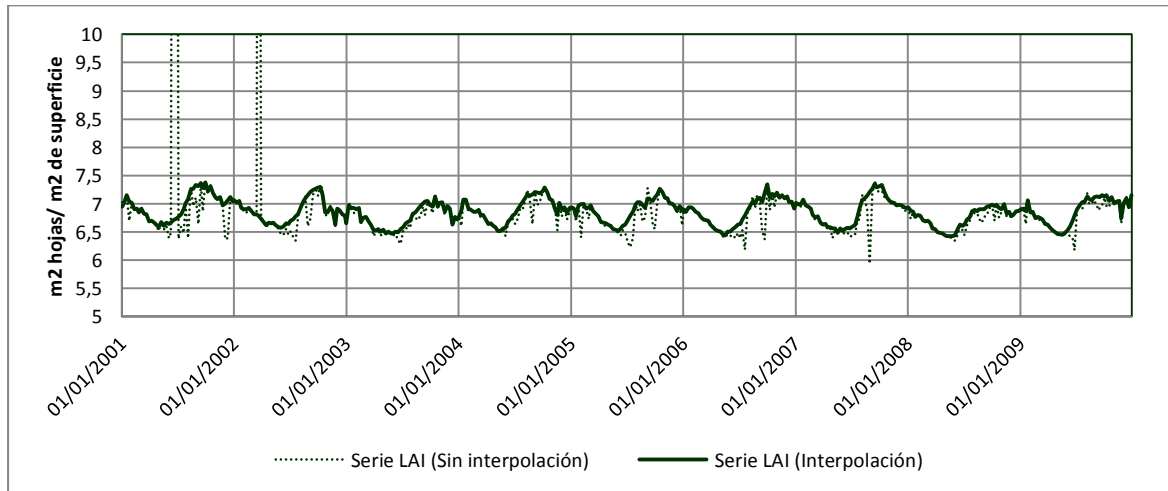


Figura 3.145. Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de escena completa (compuestos con interpolación lineal y sin interpolación).

En lo que respecta a las series de tiempo obtenidas con el LAI para la cobertura de manglar, el valor mínimo fue de 1.25, el máximo de 3.96 y el promedio de 2.38. En la Figura 3.146 se puede observar la estacionalidad de la serie de tiempo de la cobertura de manglar, con un patrón de respuesta diferente a los obtenidos con el NDVI y EVI.

También en la Figura 3.146 se puede observar la serie de tiempo de LAI para otras coberturas. En esta serie el valor mínimo fue de 0.475, el máximo de 1.765 y el promedio de 0.930; su respuesta es estacional bimodal, semejante al obtenido con las series de tiempo de NDVI y EVI. Esta respuesta posiblemente se deba a que al incrementarse la superficie foliar de una área, también haya un incremento en la respuesta de los índices, debido a la presencia de vegetación vigorosa.

A pesar de que las series de tiempo para la cobertura de manglar y otras coberturas presentan una respuesta estacional, las principales diferencias se observan en los rangos de valores de cada serie y en su comportamiento, ya que la cobertura de manglar presenta una respuesta estacional unimodal, y las otras coberturas una respuesta estacional bimodal.

En la Tabla 3.106 se presentan los valores promedio, mínimo y máximo de la cobertura de manglar para cada producto MODIS en las áreas de estudio. En lo que respecta a la utilización de los tres productos de MODIS, en términos generales para todos los índices los valores más altos se presentaron en Laguna Pom Atasta, estos resultados se deben a las características estructurales que presentan los manglares en esa zona, ya que las comunidades vegetales están conformadas por manglares altos y desarrollados (alturas de 7 a más de 20 m). A pesar de que los manglares de Laguna Pom Atasta presentan valores más altos, no significa que estén más sanos o que su condición sea más estable que en Laguna Agua Brava. Los datos que se obtuvieron para las áreas de estudio no son comparables con otros sitios, tan sólo con ellas mismas a través del tiempo.

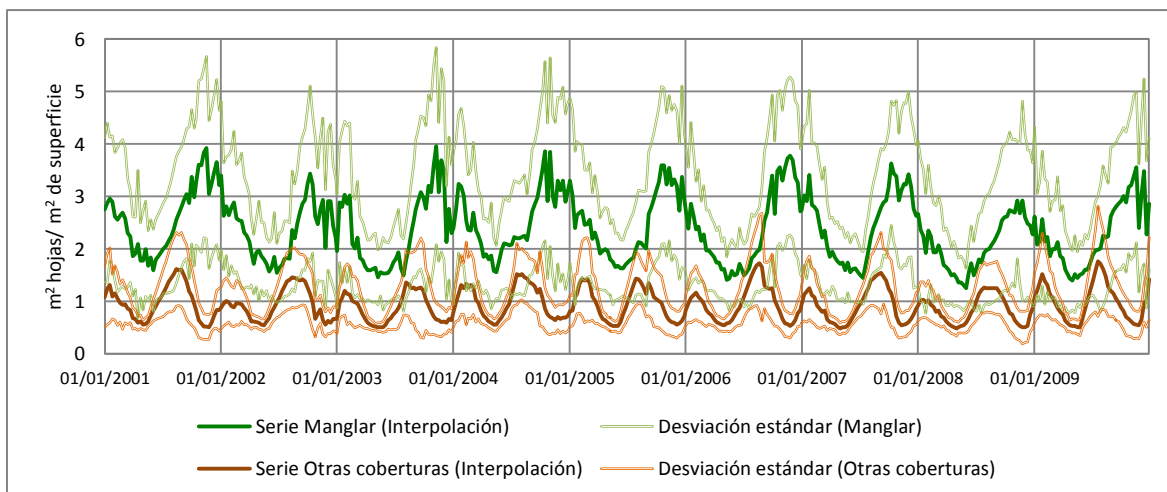


Figura 3.146. Serie de tiempo para Laguna Agua Brava, Nayarit. Promedio de las coberturas de manglar y otras coberturas (compuestos con interpolación lineal).

Tabla 3.106. Valores de índices para las dos áreas de manglar.

Productos MODIS (unidades)	Cobertura de manglar					
	Laguna Pom Atasta, Campeche			Laguna Agua Brava, Nayarit		
	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo
NDVI	0.862	0.906	0.798	0.766	0.855	0.623
EVI	0.535	0.654	0.436	0.422	0.491	0.356
LAI (m² hojas/m² de superficie)	3.215	5.183	1.572	2.38	3.96	1.25

Los índices que brindaron una mayor información fueron aquellos con mejor resolución espacial (NDVI y EVI). De forma directa o indirecta todos los índices para las coberturas de análisis fueron sensibles a la estacionalidad. Para los dos sitios en general el NDVI presentó una respuesta estacional más estable, mientras que el EVI presentó respuestas ruidosas. El ruido que se presentó en EVI podría interpretarse de varias formas: el EVI mostró una mayor sensibilidad para identificar cambios en la condición de las coberturas que no están directamente relacionadas con patrones estacionales; la respuesta de EVI fue más ruidosa que la de NDVI, posiblemente debido a su alta sensibilidad atmosférica relacionada con la inclusión de la banda azul para la obtención del índice (Jiang *et al.* 2008). La sensibilidad atmosférica podría verse afectada por la interferencia de la humedad en el ambiente, vapor de agua y otros contaminantes en el área, considerando que en las zonas costeras existe un mayor intercambio entre el agua, la costa, la atmósfera y el oleaje.

Estimación de la estructura de la comunidad vegetal de manglar y biomasa in situ con relaciones alométricas en Laguna Pom Atasta, Campeche y Agua Brava, Nayarit

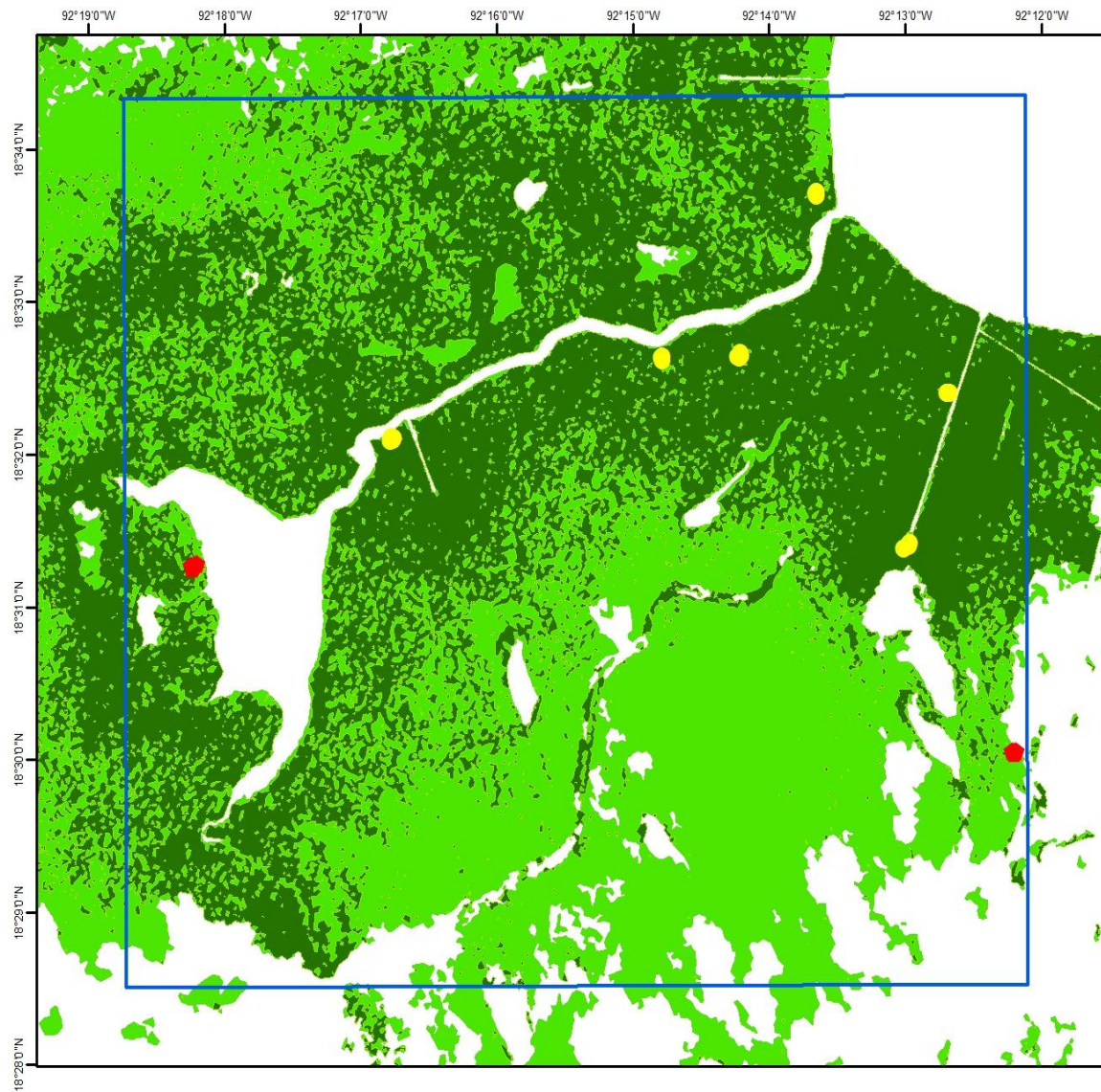
Diseño de muestreo en Laguna Pom Atasta, Campeche

La cobertura de manglar definida como área de estudio para el muestreo en campo en Laguna Pom Atasta, Campeche, fue de 10,529 ha, de las cuales 5,777 ha corresponden a la clase de NDVI identificada con valores entre 0.6751 a 0.75, representando cerca del 55 % de la cobertura total de manglar. Para la clase de NDVI identificada con valores entre 0.60 a 0.675, la cobertura de manglar fue de 4,752 ha, representando cerca del 45 % de la cobertura total de manglar para el área delimitada. En Figura 3.147 se muestran las diferentes clases de NDVI identificadas para Laguna Pom Atasta y la ubicación de las unidades de muestreo.

Diseño de muestreo en Agua Brava, Nayarit

La cobertura de manglar definida como área de estudio para el muestreo de campo en Laguna Agua Brava, Nayarit, fue de 5,791 ha, de las cuales 992 ha corresponden a la clase de NDVI identificada con valores entre 0.751 a 0.90 y representan cerca del 17 % de la cobertura total de manglar. Para la clase de NDVI identificada con valores entre 0.601 a 0.75, la cobertura de manglar fue de 3,108 ha y representa cerca del 54% de la cobertura total. Para la clase de NDVI con los valores entre 0.451 a 0.60, la cobertura de manglar fue de 1,229 ha y representa el 21% de la cobertura de manglar. Por último la clase con los valores de NDVI entre 0 y 0.45, fue de 462 ha de manglar y representa el 8% de la cobertura total.

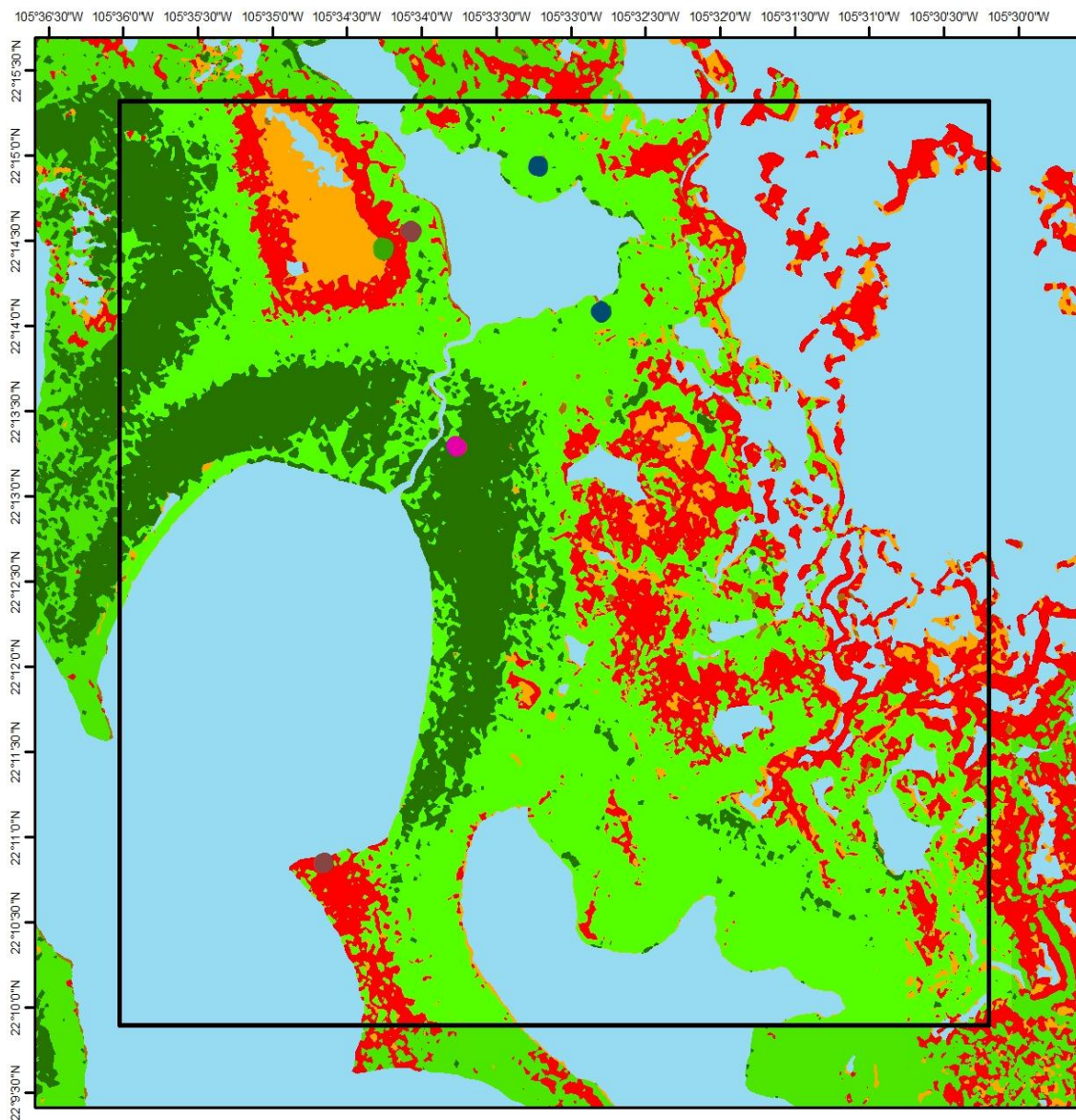
En Figura 3.148 se muestran las diferentes clases de NDVI identificadas para la cobertura de manglar en Laguna Agua Brava y la ubicación de las unidades de muestreo.



Diseño de muestreo Laguna Pom Atasta, Campeche

- Unidades de muestreo. NDVI: 0.60 a 0.675
 - Unidades de muestreo. NDVI: 0.6751 a 0.75
 - Área de estudio
- NDVI. Clases**
- NDVI: 0.60 a 0.675
 - NDVI: 0.6751 a 0.75

Figura 3.147. Clases de NDVI para la cobertura de manglar y ubicación de unidades de muestreo, en Laguna Pom Atasta, Campeche.



Diseño de muestreo Laguna Agua Brava, Nayarit



Figura 3.148. Clases de NDVI para la cobertura de manglar y ubicación de unidades de muestreo en Laguna Agua Brava, Nayarit.

Estimación de la estructura vegetal de la comunidad de manglar y biomasa in situ en Laguna Pom Atasta, Campeche

Las especies de manglar que se presentaron en el área de estudio fueron *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*, el resto fueron especies características de selva baja inundable. Algunas de las especies de selva baja inundable en el sitio fueron *Pachira aquatica*, *Bursera simaruba* y *Manilkara zapota*.

En lo que respecta a la estructura de la comunidad vegetal de manglar por clases de NDVI, en la Figura 3.149 y Tabla 3.107 se presentan los valores promedio de altura, en estas se puede observar que las especies más altas fueron *L. racemosa* y *R. mangle*, en comparación con las especies de selva baja inundable.

La densidad de las especies de manglar para las clases de NDVI, en general fue muy baja comparada con la densidad de especies de selva baja inundable, este patrón se presenta para las dos clases de NDVI (Figura 3.150).

Con los datos de área basal se puede observar que ésta es similar para las especies de manglar y las especies de selva baja inundable; incluso para la clase B de NDVI, el área de basal de *R. mangle* supera el de las especies de selva baja inundable (Figura 3.151 y Tabla 3.107). Esta condición permite deducir que alta densidad de especies de selva baja inundable no está estrechamente relacionada con la superficie que ocupan.

Considerando las alturas, las densidades y el área basal de las especies de selva baja inundable, se puede deducir que son un tipo de vegetación en estadios iniciales de crecimiento, que se desarrollan en el sotobosque por debajo de las especies de manglar. Es importante mencionar la escasa presencia de plántulas de especies de manglar y una alta presencia de especies de selva baja inundable.

En las Figura 3.152 se presentan los valores de biomasa en toneladas por hectárea y en la Tabla 3.107 el valor de LAI para cada una de las clases de manglar. Como se puede observar para ambas clases de NDVI la especie con una mayor cantidad de biomasa fue *R. mangle*. En lo que respecta a la biomasa total por clases se puede observar que la clase A presentó una mayor cantidad de biomasa que la clase B, este mismo patrón se presenta para las mediciones de LAI.

En general en el clase A de NDVI se agruparon tres variables a destacar, el mayor NDVI obtenido con la imagen SPOT (NDVI=0.6751 a 0.75), la mayor cantidad de biomasa en toneladas por ha y el mayor índice de área foliar. La combinación de estas tres variables permite deducir que la clase A en comparación a la clase B, presenta una vegetación más activa en relación a su estado de verdor, doseles más cerrados y una mayor cantidad de biomasa por encima del suelo.

Por último en las fotografías 1 a la 4 del Anexo 3 se muestran algunos de los manglares de Laguna Pom Atasta, Campeche.

Los datos de estructura de este sitio se encuentran en el Anexo 4 de este informe.

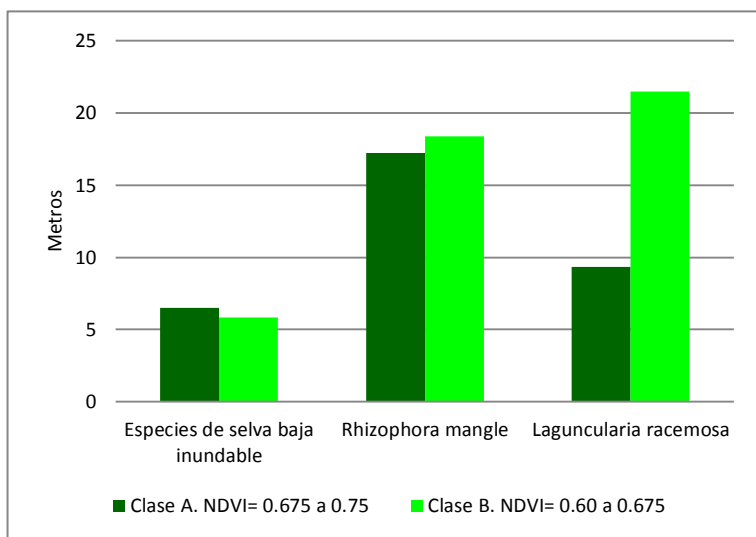


Figura 3.149. Altura promedio de las especies de selva baja inundable y especies de manglar en Laguna Pom Atasta, Campeche.

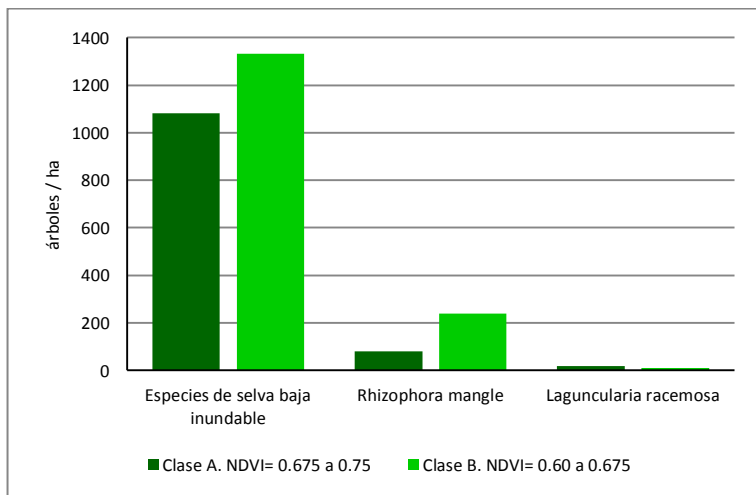


Figura 3.150. Densidad de las especies de selva baja inundable y especies de manglar en Laguna Pom Atasta, Campeche.

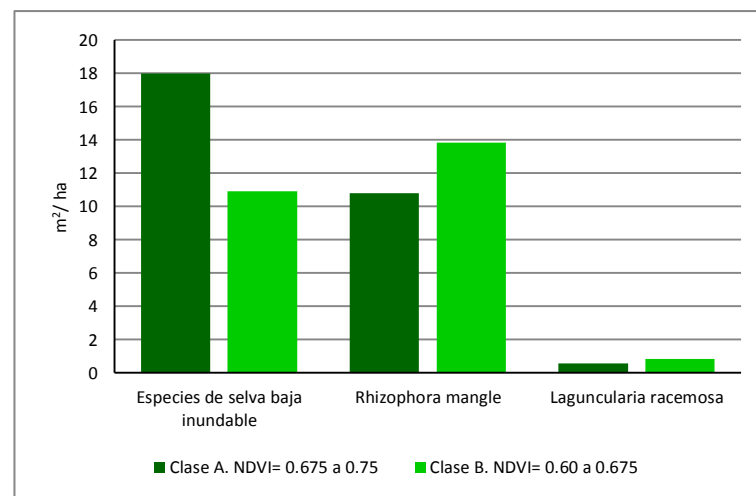


Figura 3.151. Área basal de especies de selva baja inundable y especies de manglar en Laguna Pom Atasta, Campeche.

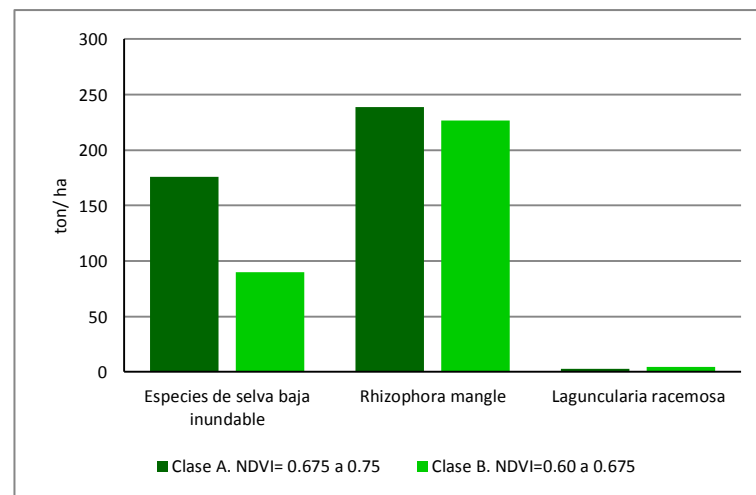


Figura 3.152. Biomasa por arriba del suelo de especies de selva baja inundable y especies de manglar en Laguna Pom Atasta, Campeche.

Tabla 3.107. Estructura de la comunidad vegetal de manglar y biomasa *in situ* por clase en Laguna Pom Atasta, Campeche.

Clase*	Especies	Altura	Densidad (árboles/ha)	DAP promedio (cm)	Área Basal (m ² /ha)	Dominancia	Densidad relativa	Dominancia relativa	Frecuencia relativa	Valor de importancia	Valor de importancia relativo	Biomasa <i>in situ</i> (ton/ha)	LAI
A	Especies de selva baja inundable	6.49	1083	10.68	17.99	0.61	91.55	61.30	91.55	244.40	81.47	175.61	
	<i>R. mangle</i>	17.23	81	33.00	10.81	0.37	6.89	36.83	6.89	50.60	16.87	238.67	
	<i>L. racemosa</i>	9.33	19	18.47	0.55	0.02	1.56	1.88	1.56	5.01	1.67	2.94	
	Total		1183	6.27	29	1	100	100	100	300	100	417.23	4.39
B	Especies de selva baja inundable	5.86	1333	7.92	10.93	0.43	84.21	42.71	84.21	211.13	70.38	90.00	
	<i>R. mangle</i>	18.40	239	23.77	13.84	0.54	15.09	54.07	15.09	84.24	28.08	226.40	
	<i>L. racemosa</i>	21.50	11	30.50	0.83	0.03	0.70	3.23	0.70	4.63	1.54	4.15	
	Total		1583	10.47	26	1	100	100	100	300	100	320.55	3.9

* Clase A: NDVI=0.6751 a 0.75; Clase B: NDVI= 0.60 a 0.675

Estructura de la comunidad vegetal de manglar y biomasa in situ en Laguna Agua Brava, Nayarit.

La comunidad vegetal de manglar de Laguna Agua Brava Nayarit, se caracterizó por la presencia de tres especies de manglar, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*. En general ninguna de las especies excedió una altura promedio mayor a 9.5 m, agrupándose los árboles con alturas promedio menores a los 5 m en la clase con valores de NDVI más bajos (0 a 0.45) y los árboles con alturas promedio mayores en la clase con el NDVI más alto (valores mayores a 0.75) (Tabla 3.108 y Figura 3.153).

En lo que respecta a la densidad, la clase con una mayor densidad de árboles fue la C; mientras que *L. racemosa* fue la especie más densa en las clases de NDVI B y C. Las clases A y D, fueron dominadas por *R. mangle* (Figura 3.154).

Por otra parte, la mayor área basal se presentó en la clase de NDVI con valores más altos (NDVI=0.75 a 0.90), mientras que el área basal menor se presentó en la clase D, caracterizada por presentar los valores más bajos de NDVI (Figura 3.155); este patrón es el mismo para la biomasa estimada en toneladas por hectáreas (Figuras 3.156).

En lo que respecta al LAI, en la Tabla 3.108 se puede observar que no presenta una relación con las clases de NDVI y la biomasa *in situ*.

En las fotografías 5 a la 8 del Anexo 3 se muestran algunas áreas de manglar en Laguna Agua Brava, Nayarit.

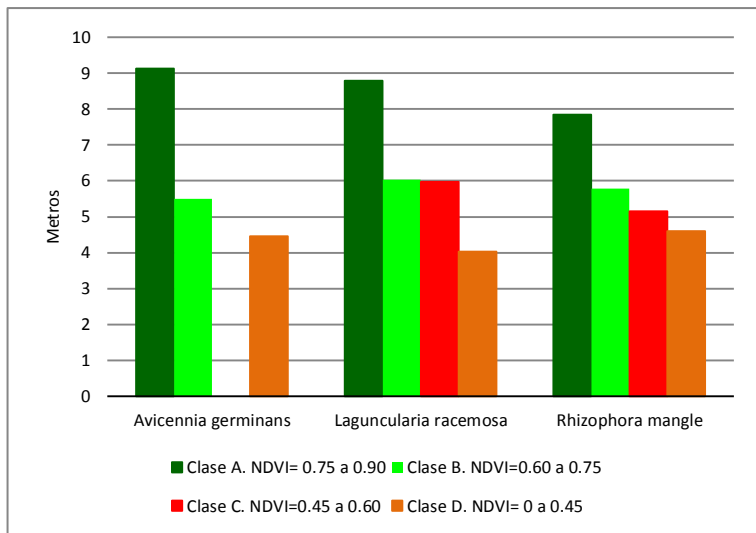


Figura 3.153. Altura promedio de las especies de manglar en Laguna Agua Brava, Nayarit.

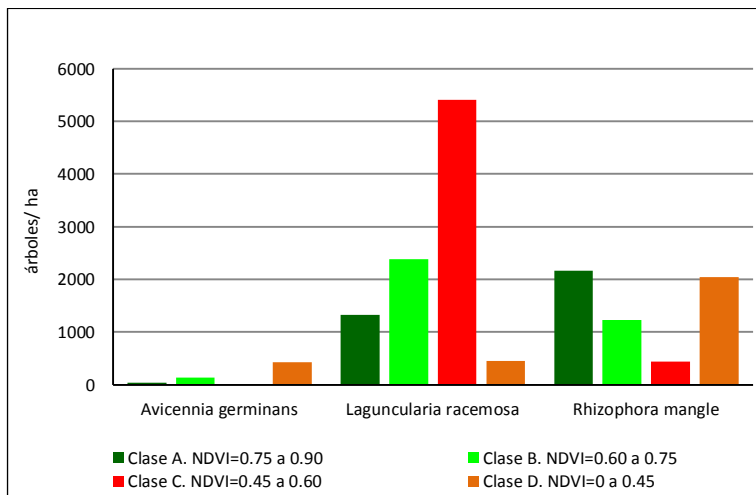


Figura 3.154. Densidad de las especies de manglar en Laguna Agua Brava, Nayarit.

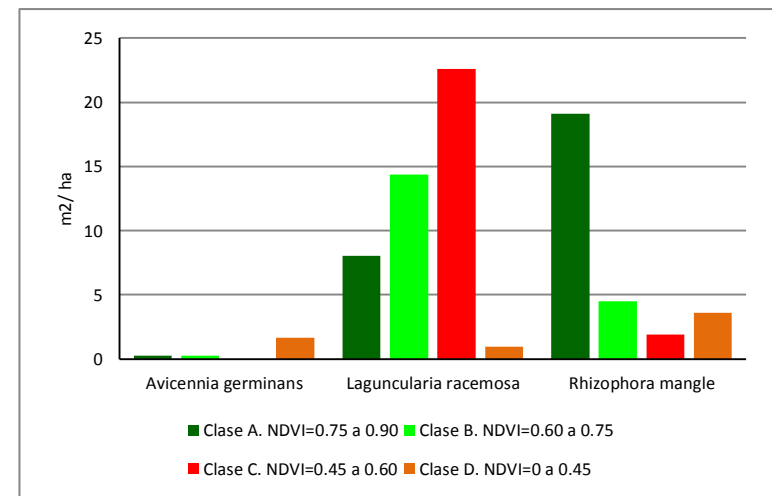


Figura 3.155. Área basal de las especies de manglar en Laguna Agua Brava, Nayarit.

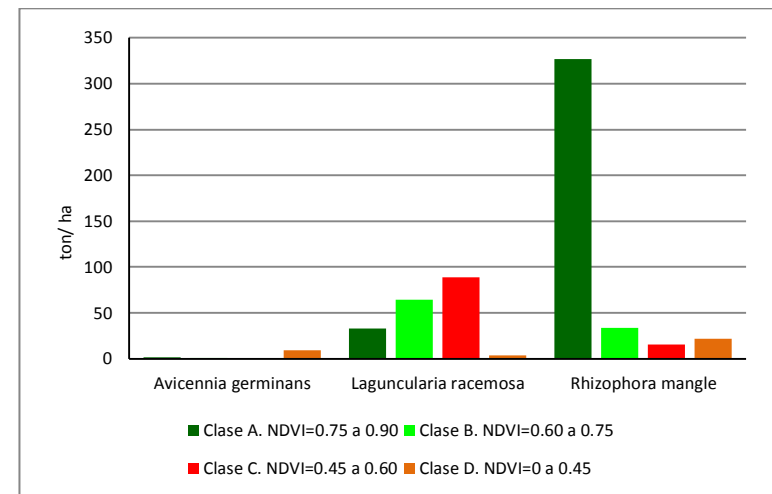


Figura 3.156. Biomasa por arriba del suelo de las especies de manglar en Laguna Agua Brava, Nayarit.

Tabla 3.108. Estructura de la comunidad vegetal de manglar y biomasa *in situ* por clase en Laguna Agua Brava, Nayarit.

Clase*	Especies	Altura	Densidad (árboles/ha)	DAP promedio (cm)	Área Basal (m2/ha)	Dominancia	Densidad relativa	Dominancia relativa	Frecuencia relativa	Valor de importancia	Valor de importancia relativo	Biomasa <i>in situ</i> (ton/ha)	LAI
A	<i>A. germinans</i>	9.13	44	7.80	0.24	0.01	1.26	0.88	1.26	3.39	1.13	1.23	
	<i>L. racemosa</i>	8.79	1322	8.04	8.04	0.29	37.42	29.36	37.42	104.21	34.74	32.87	
	<i>R. mangle</i>	7.84	2167	7.66	19.09	0.70	61.32	69.76	61.32	192.40	64.13	326.80	
	Total		3533	7.80	27	1	100	100	100	300	100	360.91	2.89
B	<i>A. germinans</i>	5.50	132	4.58	0.25	0.01	3.54	1.32	3.54	8.40	2.80	1.12	
	<i>L. racemosa</i>	6.04	2377	7.32	14.38	0.75	63.62	75.22	63.62	202.47	67.49	64.29	
	<i>R. mangle</i>	5.79	1226	6.47	4.48	0.23	32.83	23.46	32.83	89.13	29.71	33.94	
	Total		3735	6.95	19	1	100	100	100	300	100	99.35	3.81
C	<i>L. racemosa</i>	5.97	5406	6.69	22.58	0.92	92.49	92.22	92.49	277.20	92.40	88.83	
	<i>R. mangle</i>	5.15	439	6.87	1.91	0.08	7.51	7.78	7.51	22.80	7.60	15.53	
	Total		5844	6.70	24	1	100	100	100	300	100	104.36	2.97
D	<i>A. germinans</i>	4.45	433	5.70	1.67	0.27	14.77	26.85	14.77	56.40	18.80	9.03	
	<i>L. racemosa</i>	4.02	456	4.62	0.95	0.15	15.53	15.24	15.53	46.30	15.43	3.52	
	<i>R. mangle</i>	4.60	2044	4.58	3.59	0.58	69.70	57.91	69.70	197.31	65.77	21.98	
	Total		2933	4.75	6	1	100	100	100	300	100	34.53	3.33

* Clase A: NDVI=0.751 a 0.90; Clase B: NDVI= 0.601 a 0.75; Clase C: NDVI= 0.451 a 0.60; Clase D: NDVI= 0 a 0.45

Como se puede observar en las Tablas anteriores, la estructura para ambos sitios de manglar fue completamente diferente. Algunos factores determinantes que influyen en la estructura de los manglares son la temperatura y la precipitación. En este sentido a pesar de que ambos sitios de manglar se ubican en regiones tropicales, éstos presentan condiciones de temperatura y precipitación diferente. Por ejemplo, Laguna Pom Atasta, Campeche (ubicada en la cuenca del Grijalva-Usumacinta considerada como una de las cuencas más importantes por su aporte caudal), se desarrolla en un clima cálido subhúmedo con temperaturas mayores a 22°C anuales, y una precipitación media anual de 1500 a 2000 mm, mientras que Laguna Agua Brava, Nayarit, también se ubica en un clima con temperatura anual mayor a 22°C, pero con una precipitación media anual de 800 a 1200 mm. La precipitación es una de las variables más importantes que favorece el desarrollo de los manglares, principalmente porque evita condiciones de estrés por aumento de salinidad, y favorece el aporte y recambio de nutrientes en las zonas.

Los datos de estructura de este sitio se encuentran en el Anexo 5 de este informe.

Respecto a los valores de biomasa estimada *in situ* para las áreas de estudio, es importante hacer notar que ambos sitios presentan valores de biomasa superiores a los reportados para otras manglares de América Latina, por ejemplo para la Guyana Francesa, Fromard *et al.* (1998), obtuvo como valores máximos de biomasa 315 ton/ha en bosques de manglar maduros; por otra parte Golley *et al.* (1975) citado por Komiyama *et al.* (2008), para bosques primarios de manglar en Panamá, reportan cerca de 280 ton/ha. En una revisión de Komiyama *et al.* (2008) para los manglares del Atlántico, sólo Fromard *et al.* (1998) y Golley *et al.* (1975) citado por Komiyama *et al.* (2008) ha reportado los valores más altos de biomasa en manglares. Tan sólo en Indonesia y Malasia se han reportado valores de biomasa mayores a 400 ton/ha (Komiyama *et al.* 1988 citado por Komiyama *et al.* 2008, Putz y Chan 1986).

Para los manglares de Malasia, Putz y Chan (1986) reportaron valores de biomasa superiores a 400 ton/ha, sugiriendo que estos valores se debieron a la presencia de árboles de *Rhizophora* con diámetros superiores a 50cm. En este sentido para los manglares de Laguna Pom Atasta, el diámetro promedio de los individuos de *R. mangle* fue mayor a 20 cm, con la presencia de algunos individuos con diámetros mayores a 80 cm; posiblemente la presencia de estos individuos haya influido en la obtención de valores de biomasa altos.

También es importante hacer notar la necesidad de contar con formulas alométricas especies-específicas, ya que las formulas que se emplearon para este estudio fueron calibradas con árboles con diámetros entre 1 y 15 cm (Day *et al.* 1978). En el presente estudio se presentaron árboles con diámetros superiores al rango de calibración de Day *et al.* (1987), de manera que estas condiciones pudieron haber afectado el rendimiento óptimo de las formulas, provocando inconsistencias con la biomasa calculada, principalmente sobrestimaciones de biomasa

Exploración de la estimación de biomasa vegetal con imágenes de radar

Laguna Pom Atasta, Campeche

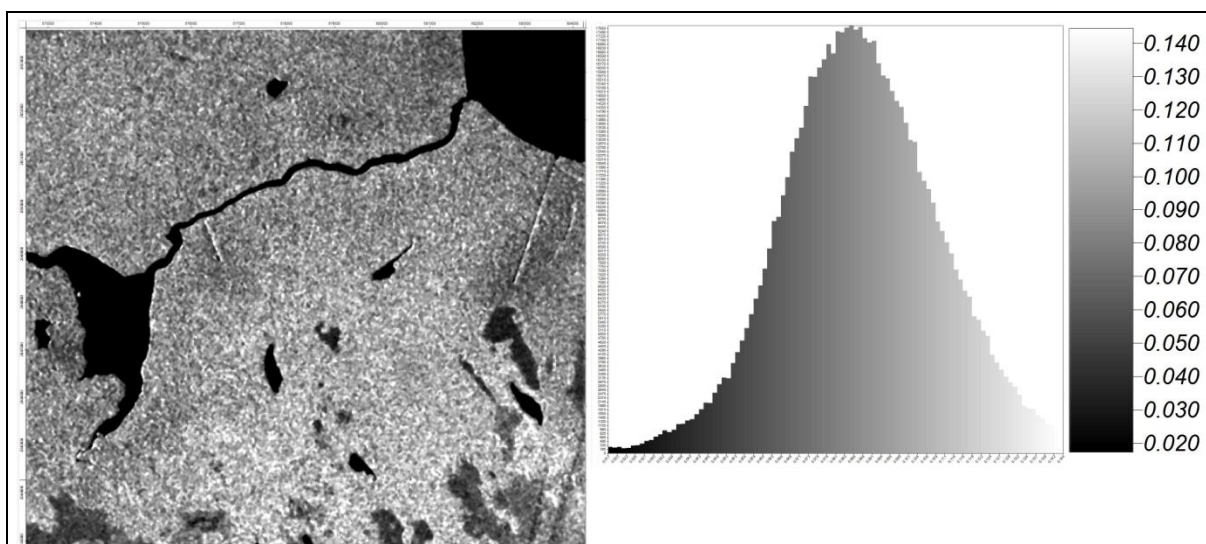
La correlación obtenida entre las polarizaciones de la imagen de radar de Laguna Pom Atasta, fue de 0.808 (estadísticamente significativa, $p=0.000$, $df=812306$). Esta correlación se debe a que ambas polarizaciones fueron obtenidas al mismo tiempo, con el mismo ángulo de inclinación y el mismo tipo de pase (ascendente). El 0.192 de falta de correlación entre las polarizaciones, se puede explicar por la sensibilidad e interacción que cada una de ellas presenta con las superficies del suelo.

Cada polarización presentó diferentes rangos de respuesta para el área de estudio. En la Figura 3.157 se presentan los histogramas y los rangos de valores de las imágenes en decibels para las polarizaciones HH y HV del 2009. El rango de valores en el que se presentó la imagen para la polarización HH fue de -0.01722 a 0.1444, mientras que para la polarización HV el rango fue de 0.0033 a 0.0477.

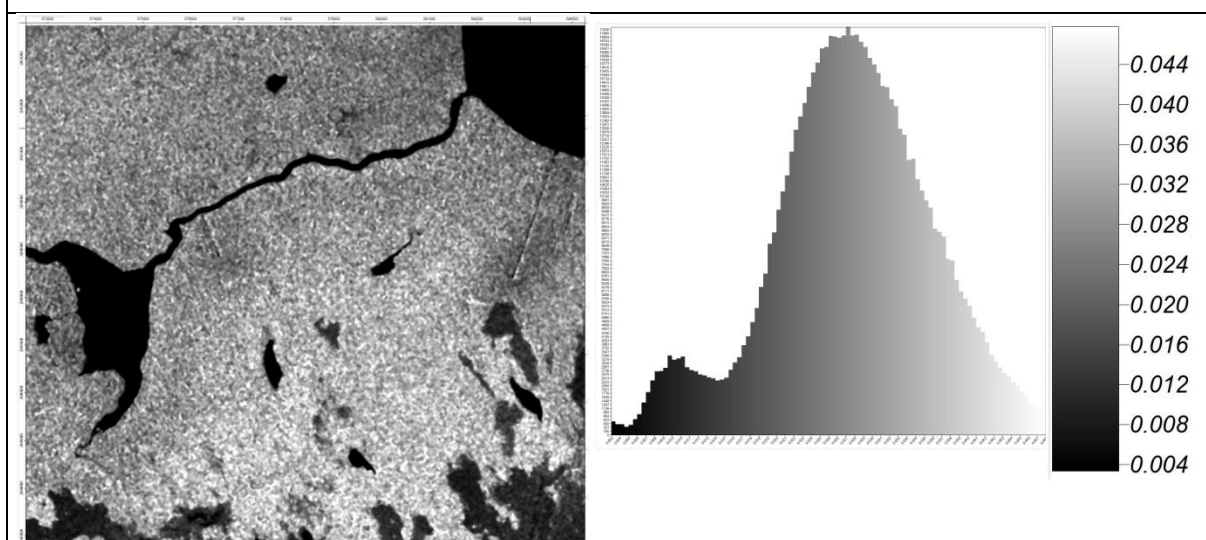
Por otra parte, en la Figura 3.158 se presentan las imágenes escaladas en el rango de 0 y 1; el rango de valores para la polarización HH escalado fue de 0.0733 a 0.6642 y para HV escalado fue de 0.0366 a 0.6162.

En lo que respecta al resultado de la multiplicación de los productos anteriormente mostrados, en la Figura 3.159 se puede observar que en color azul se presentan aquellas superficies con una respuesta similar en ambas polarizaciones, mientras que en color rojo se presentan las superficies con una respuesta más variable en ambas polarizaciones.

El color azul se presenta en las áreas de manglar cercanas a los cuerpos de agua, con vegetación estructuralmente más desarrollada, mientras que en color rojo se pueden observar áreas de manglar más alejadas de cuerpos de agua y con un tipo de vegetación menos desarrollada. Este patrón de respuesta es parecido al obtenido con el análisis de NDVI de la imagen SPOT del año 2005 (Figura 3.147), donde las áreas con menor NDVI corresponden en este producto a las zonas de color rojizo, mientras que las áreas con un mayor NDVI corresponden a las áreas con tonalidades azules. Para identificar una posible relación entre ambos análisis se obtuvo el coeficiente de correlación entre el NDVI de SPOT (Figura 3.147) y el producto de la multiplicación de ambas polarizaciones, el coeficiente fue de 0.527 (esta correlación se realizó escalando el producto de NDVI de SPOT de 10 metros, a la resolución de la imagen de radar, 12.5 metros).



a. Imagen e histograma de retrodispersión en polarización HH (2009)



b. Imagen e histograma de retrodispersión en polarización HV (2009).

Figura 3.157. Imágenes e histogramas de retrodispersión para las polarizaciones HH y HV en Laguna Pom Atasta, Campeche (2009).

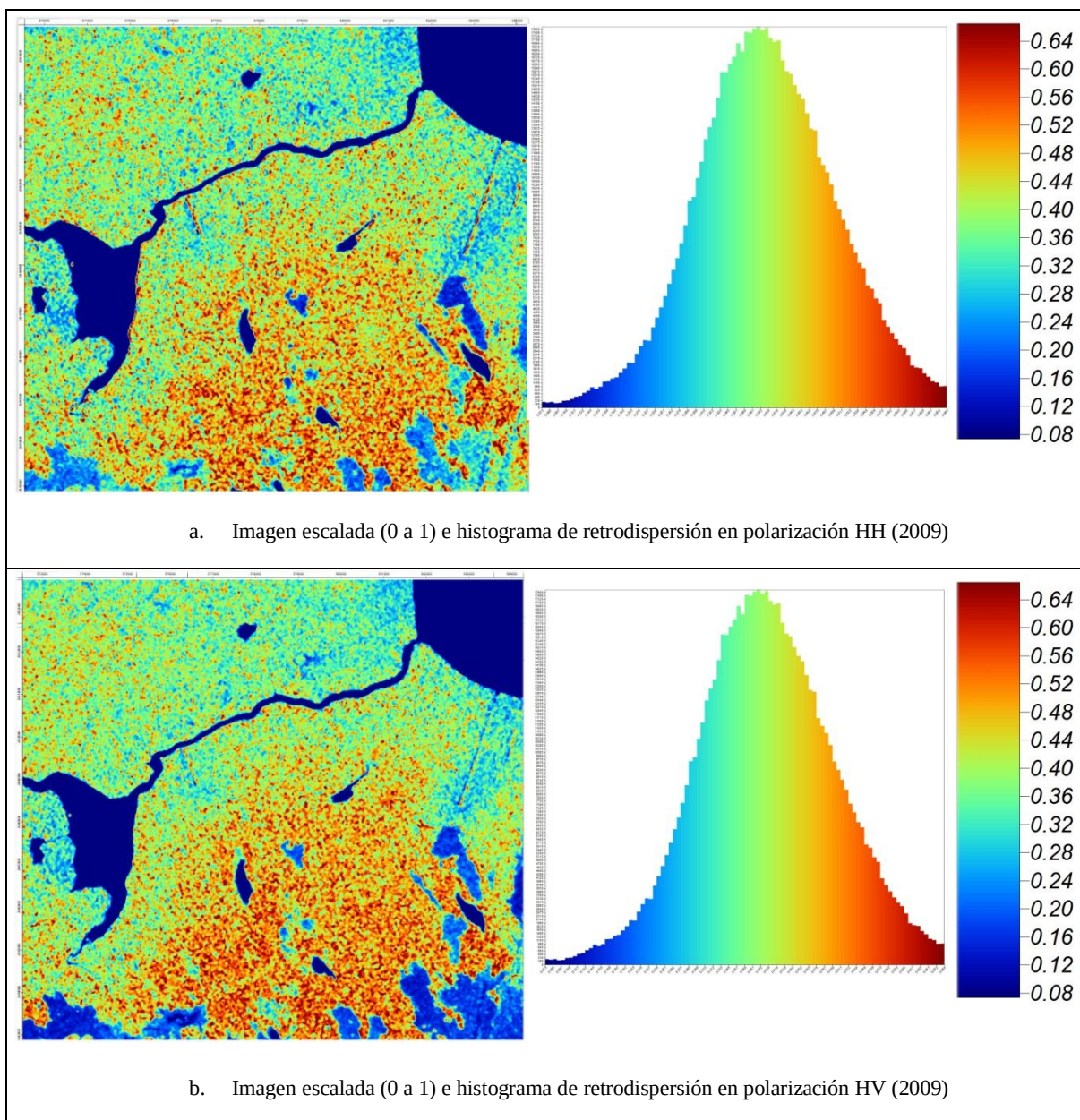


Figura 3.158. Imágenes e histogramas de retrodispersión para imágenes de polarizaciones escaladas (0 a 1) en Laguna Pom Atasta, Campeche (2009).

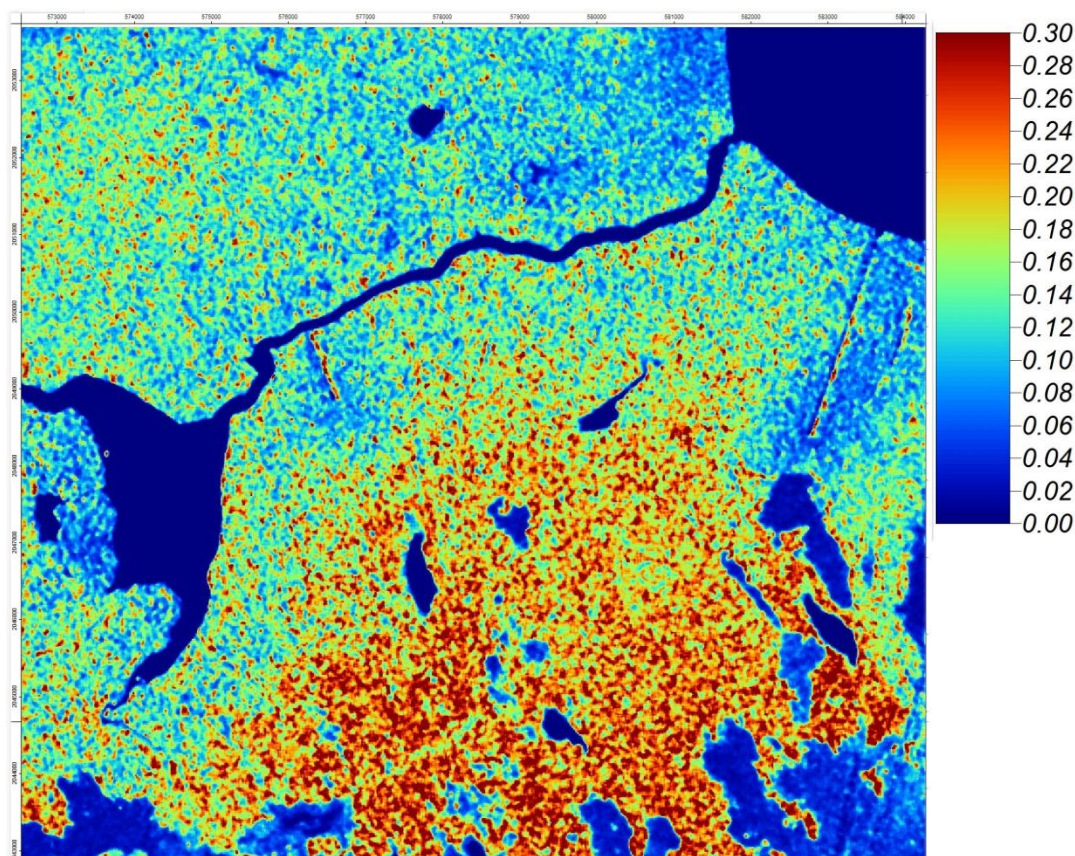


Figura 3.159. Distribución espacial de los valores de retrodispersión obtenidos de la multiplicación de la polarización HH escalada y HV escalada en Laguna Pom Atasta.

En este sentido, la banda L de Alos Palsar presenta una longitud de onda de 23.5cm, considerada como la banda con mayor penetración bajo el dosel (ERSDAC 2010). La polarización HH hace referencia a que la incidencia y la recepción de las señales de radar se realizan en un plano paralelo a la superficie de la tierra; esta polarización es más sensible para detectar texturas de suelo. La polarización HV hace referencia a la incidencia de la longitud de onda del radar en un plano horizontal a la superficie terrestre, pero a una recepción de la antena en un plano vertical; esta polarización es de las más empleadas para monitoreo y detección de vegetación, debido a que la respuesta de la vegetación es por múltiples rebotes en un plano vertical. (Massonnet y Souyris 2008).

Como se mencionó en el apartado de materiales y métodos, para la exploración de la estimación de biomasa en las imágenes de radar a partir de la biomasa estimada *in situ*, se utilizaron dos tipos de escalamiento de la información, por centroide y por polígonos. En la Tabla 3.109 se muestra la correlación estadística con la prueba de Pearson entre los valores del coeficiente de retrodispersión de las imágenes de radar y los datos de biomasa estimados de variables estructurales medidas en campo. La correlación de dos variables independientes indicará su fuerza y proporcionalidad de relación, de manera que a partir del comportamiento de una variable altamente correlacionada con otra se puede conocer el comportamiento de ambas. Como se puede observar las correlaciones más altas y positivas se presentaron con el uso de la banda HV de Alos Palsar, a partir del escalamiento de información de campo por centroide.

Tabla 3.109. Correlaciones entre imágenes de radar para Laguna Pom Atasta, Campeche.

Tipo de correlación	Año	Correlación por centroide	Correlación por polígonos
Correlación con la banda HH	2009	-0.122	-0.198
Correlación con la banda HV	2009	0.357	0.2

Laguna Agua Brava, Nayarit

En lo que respecta a la correlación de las polarizaciones de la imagen de radar para Laguna Agua Brava, Nayarit, ésta fue de 0.845 (estadísticamente significativa, $p=0.000$, $df=643202$). Por otra parte, en la Figura 3.160 se presentan las imágenes y los histogramas de valores para las polarizaciones en decibeles; el rango de valores de la imagen original HH en decibeles fue de 0.0012 a 0.1875, mientras que para su imagen escalada fue de 0 a 0.355; el rango para la imagen en polarización HV fue de 0.00038 a 0.038 y para su imagen escalada fue de 0 a 0.523. Las imágenes de las polarizaciones escaladas se puede observar en la Figura 3.161.

El producto obtenido de la multiplicación de las polarizaciones HH y HV escaladas se muestra en la Figura 3.162. Esta imagen es similar al encontrado con el NDVI, las áreas de color azul son aquellas que su respuesta es parecida en ambas polarizaciones, mientras que las tonalidades rojizas presenta una respuesta diferente a cada una de las polarizaciones.

Como se puede observar en la Figura 3.162, la cobertura de manglar presenta variaciones de tonalidad desde los azules hasta los colores rojos, igual que en Laguna Pom Atasta. También se puede observar que las áreas de manglar identificadas con una mayor NDVI (Figura 3.148) en este análisis se presentan en color azul, mientras que las áreas de manglar con menor NDVI se presentan en tonalidades rojizas. A pesar de que se puede observar una posible relación entre este análisis y el NDVI obtenido para la zona (Figura 3.148), el coeficiente de correlación entre ambos productos fue de 0.254 (la correlación entre ambos productos se realizó pixel a pixel, escalando el producto NDVI de SPOT de 10 metros, a la resolución de la imagen de radar, 12.5 metros).

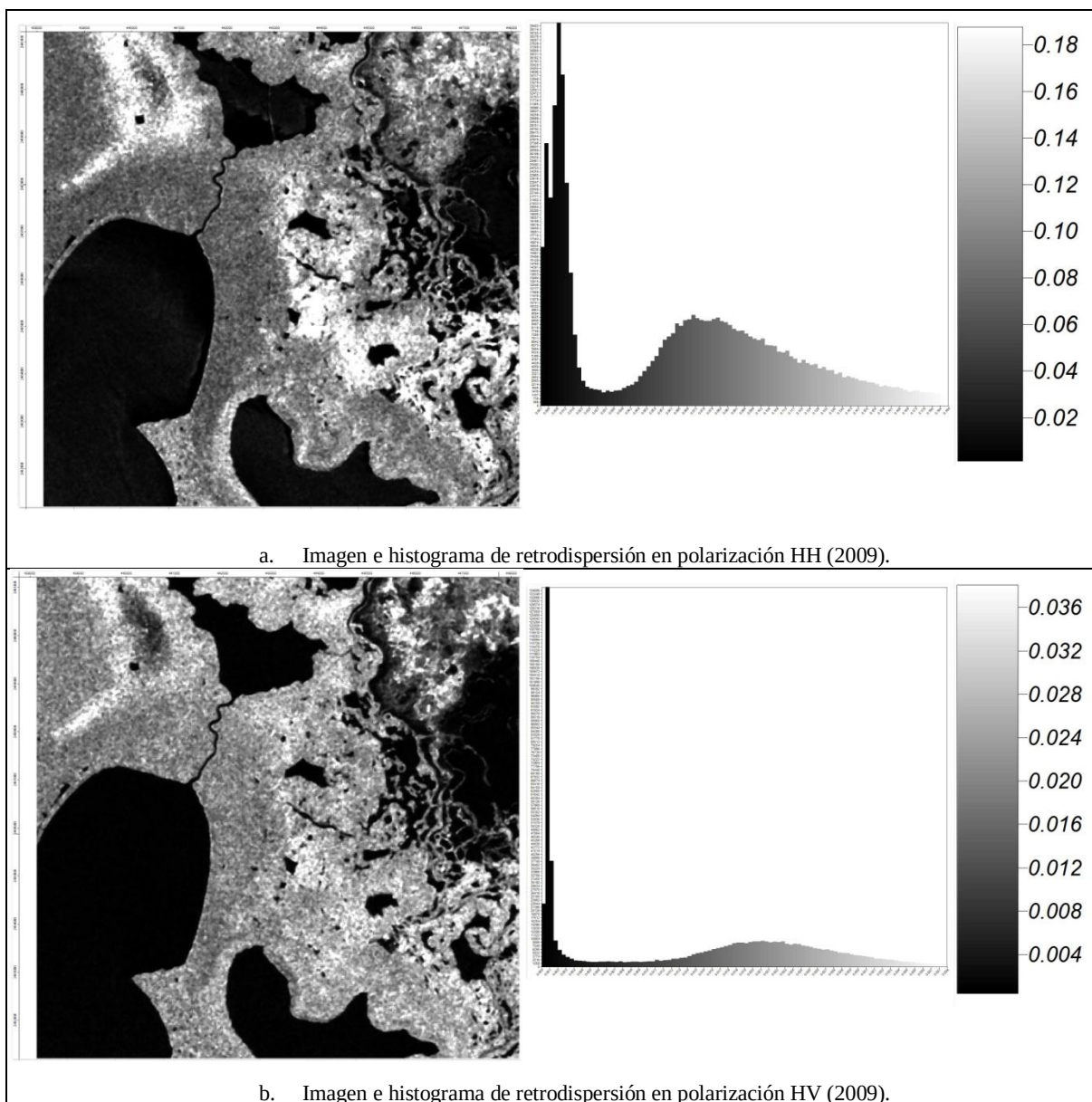


Figura 3.160. Imágenes e histogramas de retrodispersión para las polarizaciones HH y HV en Laguna Agua Brava, Nayarit (2009).

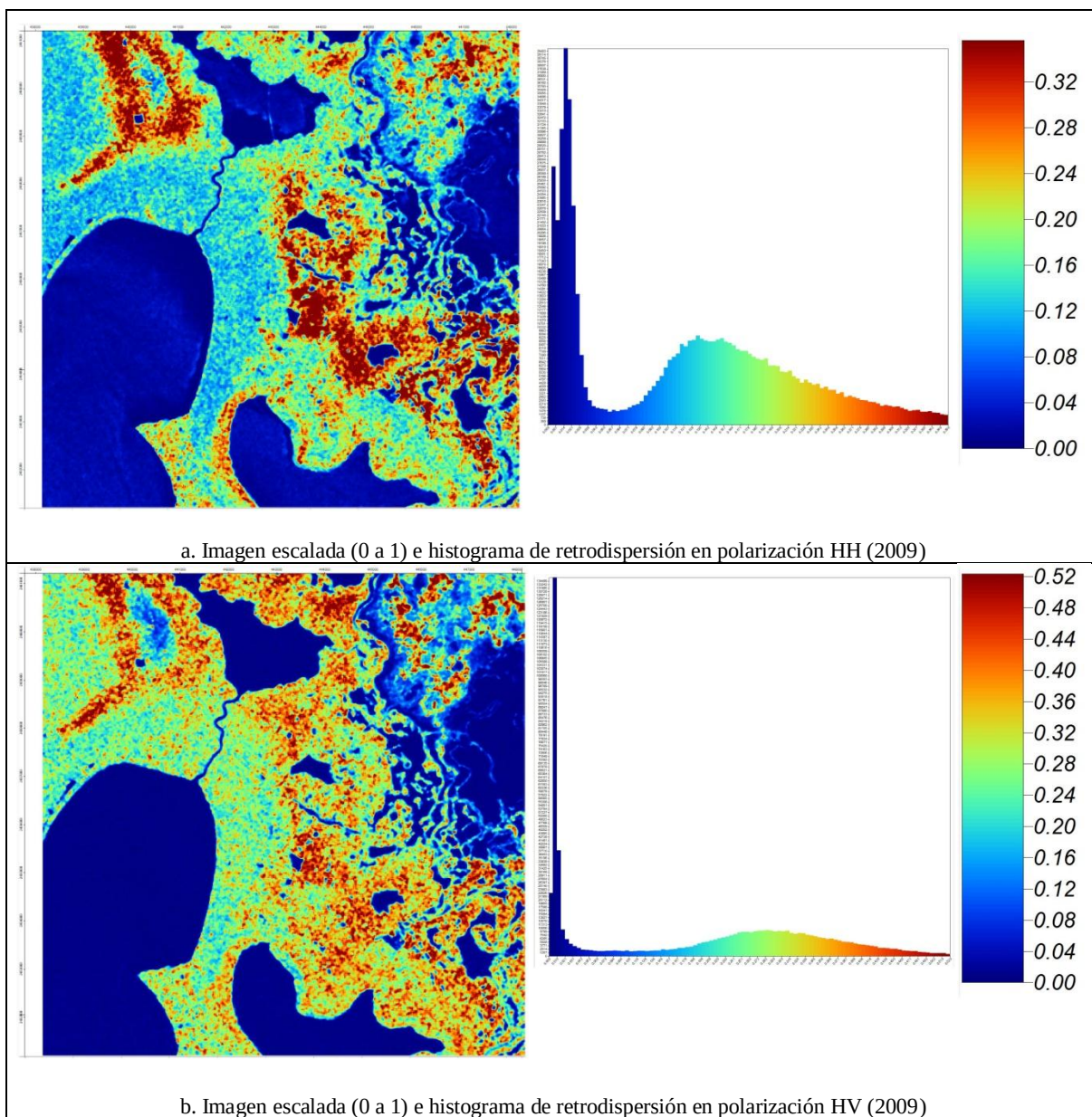


Figura 3.161. Distribución espacial de los valores de retrodispersión obtenidos de la multiplicación de la polarización HH escalada y HV escalada en Laguna Agua Brava.

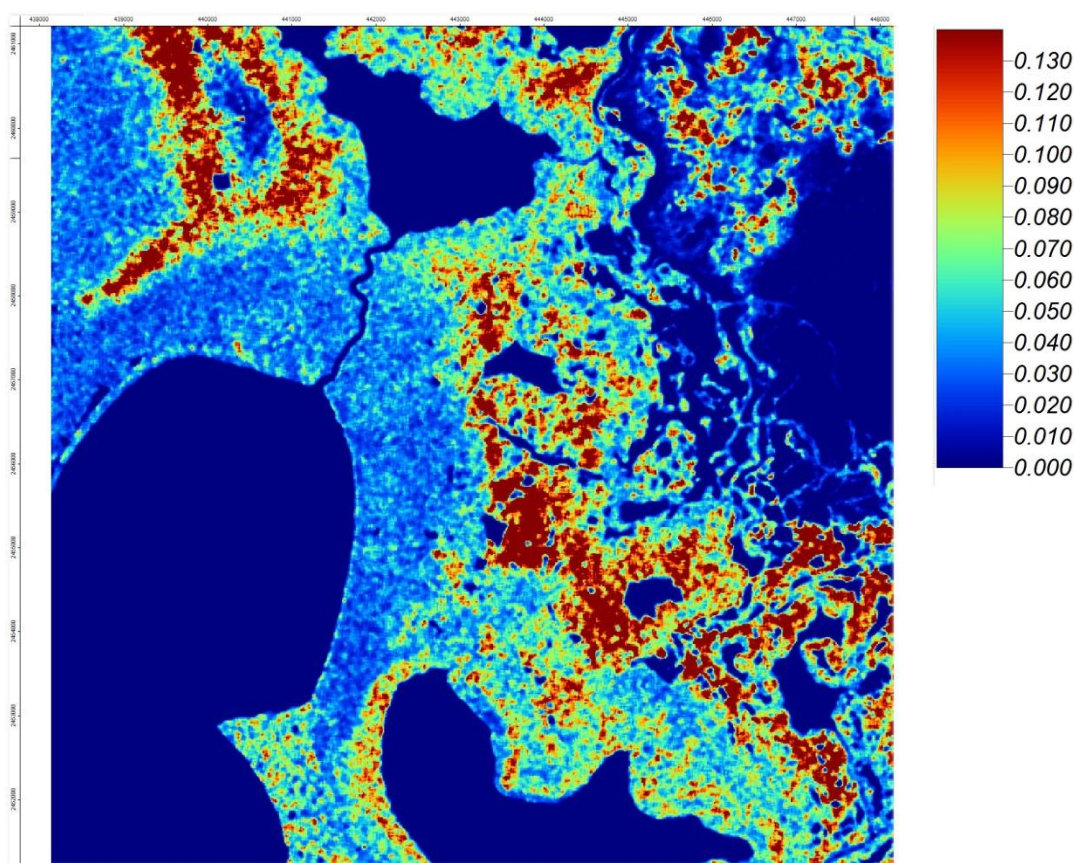


Figura 3.162. Distribución espacial de los valores de retrodispersión obtenidos de la multiplicación de la polarización HH escalada y HV escalada en Laguna Pom Atasta.

En lo que respecta a la correlación de las imágenes de radar con los datos de biomasa *in situ*, en ninguno de los análisis se obtuvo una alta correlación positiva (Tabla 3.110). El valor más alto fue obtenido con la polarización HV. Es importante destacar que para la correlación realizada por centroide en ambas polarizaciones se presentaron altas correlaciones negativas, este patrón podría permitir asumir que a bajos valores en decibéles, una mayor cantidad de biomasa; en algunos estudios realizados con la misma banda y polarización en humedales, se ha descrito que este patrón no corresponde a una alta cantidad de biomasa, sino al efecto de doble rebote e incluso múltiple rebote de las señales con las superficies, principalmente por la interacción tronco-agua-tronco (Wang *et al* 1995; Proisy *et al* 2000).

Tabla 3.110. Correlaciones para la exploración de la estimación de biomasa en Laguna Agua Brava, Nayarit.

Tipo de correlación con los datos de biomasa <i>in situ</i>	Año	Correlación por centroide	Correlación por polígonos
Correlación con la banda HH	2009	-0.544	0.011
Correlación con la banda HV	2009	-0.604	0.264

En lo que respecta a la exploración de estimación de biomasa a partir de su posible relación con datos obtenidos en campo, ésta ha sido una de las primeras técnicas utilizadas para estimar de manera rápida la biomasa con imágenes de radar. Dentro de algunos trabajos realizados con estos métodos en manglares, se encuentra el realizado por Mougin *et al.* (1999), en los manglares de la Guyana Francesa. Los autores encontraron una alta correlación entre los datos de biomasa estimados en campo y la polarización HV en una longitud de onda P, sin embargo también encontraron una pronta saturación de la señal a altas

cantidades de biomasa. En el presente estudio también las correlaciones más altas de datos de campo con las imágenes de radar fueron con la polarización HV, principalmente para el sitio de Laguna Pom Atasta, Campeche.

Dentro de los factores que favorecieron la falta de correlación entre la información de biomasa en campo y las imágenes de radar, se enlistan los siguientes:

- La saturación del coeficiente de retrodispersión: La saturación del coeficiente de retrodispersión se refiere a la capacidad de las polarizaciones y de las señales para relacionar la respuesta de radar con la biomasa estimada en campo. En algunos estudios de estimación de biomasa en manglares se ha reportado que longitudes de onda de 67 cm se saturan con alrededor de 160 t/ha de biomasa (Mougin *et al.* 1999, Proisy *et al.* 2002). También otros autores reportan que para vegetación tropical la saturación de la banda L se presenta alrededor de 40 t/ha de biomasa (Imhoff 1995). El rango de biomasa estimada en campo para las dos áreas de estudio osciló entre 34.53 a 417.23.
- El efecto en la constante dieléctrica de las superficies de análisis: La constante dieléctrica es una propiedad eléctrica de la materia, que tiene una fuerte influencia sobre los retornos de las señales de radar. La constante dieléctrica de una superficie se ve afectada por el contenido de humedad en ésta, su temperatura y su organización estructural (Massonnet y Souyris 2008).
- El tamaño de las unidades de muestreo en campo y el número: A pesar de que las unidades de muestreo en campo representaron cerca de 0.09 ha, hay algunos autores que sugieren que para estimaciones de biomasa con imágenes de satélite, las unidades de muestreo en campo deben ser de 50 x 50 m, mejor aún de 100 x 100 m o más (Luckman *et al.* 1997, Santoro *et al.* 2007). También es importante considerar el número de las unidades de muestro, ya que se requiere información para calibrar y validar los modelos que se obtengan.

Una de las ventajas que se obtuvo con en este análisis, fue la identificación de la respuesta de la polarización HV como la más correlacionada con los datos de biomasa en campo (aún considerando que ésta fue baja). También se puede mencionar que de los análisis de correlación y productos realizados sólo para las imágenes de radar, se detectó un patrón de respuesta correlacionado (principalmente para Laguna Pom Atasta Campeche) con los valores del NDVI.

Por otra parte, es necesario utilizar otros productos derivados de radar, como la fase, para obtener mayores correlaciones con datos de biomasa en campo. En lo que respecta al uso de la fase para estimaciones/correlaciones de biomasa, éste se ha utilizado para la detección de cambios a través del tiempo, y para la estimación de biomasa por encima del suelo a partir de la obtención de la altura de los árboles con técnicas de interferometría radar, tanto en manglares como en otros tipos de vegetación (Luckman *et al.* 1997, Wagner *et al.* 2003, Santoro *et al.* 2007). Sin embargo la aplicación de estas técnicas requiere de software especializado, personal capacitado en estos temas y validaciones de campo.

Exploración de la estimación de biomasa vegetal a partir del Índice de Área de Foliar de MODIS

Laguna Pom Atasta, Campeche.

Los resultados de los productos de NDVI que se correlacionaron para Laguna Pom Atasta fueron el NDVI escalado 1 y el NDVI escalado 2. El primero hace referencia al NDVI obtenido de imágenes SPOT con rangos de valores entre -1 a 1, con un 10% mínimo de valores validos para escalar el producto a 1000 metros. El segundo producto también fue obtenido de imágenes SPOT en rangos de valores entre 0.3 a 1, con un 50% de pixeles validos mínimos para escalar el producto a 1000 metros.

En lo que respecta a los resultados de las correlaciones obtenidas para Laguna Pom Atasta, Campeche, en la Tabla 3.111 se muestra que ninguna de éstas fue mayor a 0.3, siendo la más alta la obtenida entre el NDVI escalado 1 y el LAI. La baja correlación entre los productos no puede explicar alguna relacion de la biomasa estimada *in situ* y el NDVI obtenido de la imagen SPOT, por consiguiente tampoco es posible explicar una posible relacion entre el LAI (1000 x 1000 m), el NDVI (1000 x 1000 m) y la biomasa *in situ*.

Tabla 3.111. Correlación de biomasa estimada *in situ*, NDVI y LAI a 1000 x 1000 m para Laguna Pom Atasta, Campeche.

Producto a correlacionar 1	Producto a correlacionar 2	Coefficiente de correlacion
Biomasa estimada <i>in situ</i> (resolución de 10 x 10 m)	NDVI obtenido de imagen SPOT (resolución 10 x 10 m)	-0.0105
NDVI escalado 1, Laguna Pom Atasta, Campeche (1000 x 1000 m).	LAI 1000 x 1000 m	0.272
NDVI escalado 2, Laguna Pom Atasta, Campeche (1000 x 1000 m).	LAI 1000 x 1000 m	0.029

Laguna Agua Brava Nayarit.

Los resultados de los productos de NDVI que se correlacionaron para Laguna Agua Brava, fueron el NDVI escalado 1 y el NDVI escalado 2. El primero hace referencia al NDVI obtenido de imágenes SPOT con rangos de valores entre -1 a 1, con un 10% mínimo de valores validos para escalar el producto a 1000 metros. El segundo producto también fue obtenido de imágenes SPOT en rangos de valores entre 0.0 a 1, con un 50% de pixeles validos mínimos para escalar el producto a 1000 metros.

En lo que respecta al sitio de Laguna Agua Brava, Nayarit, en la Tabla 3.112 se puede observar que todas las correlaciones fueron mayores a 0.5, siendo la más alta la obtenida entre el NDVI escalado 1 y el LAI.

Tomando en cuenta que la correlación entre la biomasa estimada *in situ* y el NDVI obtenido de la imagen SPOT es alta (0.66), se podría considerar que la biomasa puede ser estimada a partir de la relación entre el NDVI de 1000 x 1000 m y valores de LAI a 1000 x 1000 m.

Para el sitio de Laguna Pom Atasta, Campeche se presentaron las correlaciones más bajas, mientras que para Agua Brava, Nayarit las más altas.

Considerando los resultados obtenidos para ambos sitios, es necesario calibrar modelos físicos que arrojen resultados con un fuerte respaldo matemático.

Tabla 3.112. Correlación de biomasa estimada *in situ*, NDVI y LAI a 1000 x 1000 m para Laguna Agua Brava, Nayarit.

Producto a correlacionar 1	Producto a correlacionar 2	Coefficiente de correlacion
Biomasa estimada <i>in situ</i> (resolución de 10 x 10 m)	NDVI obtenido de imagen SPOT (resolución 10 x 10 m)	0.66
NDVI escalado 1, Laguna Agua Brava, Nayarit (1000 x 1000 m).	LAI 1000 x 1000 m	0.82
NDVI escalado 2, Laguna Agua Brava, Nayarit (1000 x 1000 m).	LAI 1000 x 1000 m	0.72

Como se puede observar en las Tablas anteriores, los productos de NDVI escalados a 1000 metros con una mayor correlación con LAI de MODIS fueron los realizados para Laguna Agua Brava, Nayarit, posiblemente a que en general su condición estructural y biomasa fue menos desarrollada que para Laguna Pom Atasta, favoreciendo que el NDVI se saturará menos y se obtuviera una mejor correlación con el LAI (Jing *et al.* 2008).

TERCERA ETAPA

Identificación de sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica

Como resultado de los dos talleres realizados para este propósito se identificaron 81 sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. En la región del Pacífico norte se identificaron 10 sitios, en el Pacífico centro seis, en el Pacífico sur 13, en el Golfo de México 27 y en la región de Península de Yucatán 25.

Para cada sitio se tiene la ficha de criterios y la ficha de caracterización, con información de ubicación del sitio, características físicas, socioeconómicas, usos del manglar, descripción e importancia biológica, características de la estructura, impactos, amenazas y procesos de transformación, conservación y manejo de los manglares de cada sitio. En la mayoría de las fichas se presentan cuatro anexos: mapa de ubicación del sitio, catálogo fotográfico y lista de especies de plantas y animales.

Actualmente se encuentra disponible al público la información completa de la cartografía de los sitios en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/biodiv/monmang/sitpriogw. Con relación a las fichas de caracterización y criterios, 81 de los sitios de manglar pueden ser consultados en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares/sitiosPrioritarios.html>.

Sistema de Monitoreo de Manglares de México (SisMMM)

Como ya se mencionó en la introducción, la importancia de realizar un monitoreo permanente de los ecosistemas de manglar radica en que, al determinar el estado y las tendencias de cambio (deterioro o recuperación), incluida la identificación de las amenazas existentes y la aparición de nuevas, será posible emprender acciones y prevenir o corregir los cambios que provocan o se pueden provocar en estos ecosistemas.

En este sentido el monitoreo comprende un nivel de base con la caracterización preliminar para propósitos de comparación, un monitoreo del estado o condición que caracterizará espacial, temporal y espectralmente el ecosistema de manglar y los aspectos físico-químicos a nivel de parcelas, y un monitoreo que evaluará las tendencias de cambio en la condición del ecosistema.

Este sistema de monitoreo presenta tres componentes: a) el componente espacial, que incluye el análisis de la información obtenida en la elaboración de los mapas de distribución y extensión de manglares para las diferentes fechas, los mapas de coberturas y el cálculo de los parámetros e indicadores. Adicionalmente en este componente se encuentra el monitoreo a nivel de parcelas de parámetros físico-químicos que realizan especialistas en manglar en los estados de Veracruz, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Oaxaca y Chiapas; b) el componente experimental en sitios piloto, que incluye el uso de técnicas de percepción remota con índices y parámetros que apoyen al monitoreo de tendencias de cambio espaciales, temporales y espectrales en los manglares; c) el componente social, que será desarrollado en un futuro a fin de dar seguimiento a los efectos de las políticas públicas sobre los ecosistemas de manglar.

Esta propuesta constituye el inicio del Sistema de Monitoreo, con la posibilidad abierta para revisar sus indicadores y parámetros, a fin de incrementar la calidad y la confiabilidad los datos obtenidos. Los esfuerzos para mantener un monitoreo operacional de este ecosistema serán realizados por la CONABIO, que generará como mínimo, la información derivada a partir de mediciones de percepción remota.

Tomando en cuenta todo lo anteriormente expuesto se consideran los siguientes criterios para conformar el Sistema de Monitoreo de Manglares de México y los parámetros e indicadores seleccionados para su

implementación. Como se dijo anteriormente el componente social aún no se encuentra desarrollado en esta propuesta debido a que es necesario contar con gente especializada en el tema, la cual será involucrada en el menor tiempo posible.

Objetivos

Objetivo general

Identificar cambios en el ecosistema de manglar a través de la evaluación de su distribución espacial y condición a través del tiempo, de tal forma que la información generada apoye a la conservación y manejo del ecosistema de manglar.

Objetivos específicos

- Obtener la localización y superficie de las áreas de manglar en el país.
- Caracterizar los patrones espaciales y la distribución de estos ecosistemas.
- Caracterizar el nivel de amenaza para el ecosistema de manglares.
- Caracterizar los cambios en la estructura de los manglares en sitios piloto.

Meta del Sistema de Monitoreo de Manglares de México

Obtención de indicadores cada 5 años de las tendencias de cambio de las áreas de manglar en México.

Escala de trabajo

- 1:50000

Áreas de estudio

- **Nivel nacional:** Cobertura de manglar nacional, más área colindante definida por CONABIO (Áreas de estudio oficiales por regiones).
- **Nivel estatal:** Cobertura de manglar estatal, más área colindante definida por CONABIO (Áreas de estudio oficiales por regiones).
- **Sitios prioritarios de manglar:** Cobertura de manglar de cada uno de los sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica identificados por la CONABIO y especialistas en manglar. Estas áreas de estudio se evaluarán fuera de las fechas del desarrollo del presente proyecto.
- **Sitios piloto:** Laguna Pom-Atasta, Campeche y Laguna Agua Brava, Nayarit. Áreas de estudio para la exploración de variables biofísicas y la estimación de la estructura de la comunidad de manglar. La finalidad de trabajar en estos sitios piloto es identificar métodos, principalmente de percepción remota, que se puedan utilizar para la identificación de la condición de la vegetación de manglar en diferentes áreas, ya sea por CONABIO o por otras instituciones interesadas.

Colección de datos

En los meses de diciembre de cada cinco años (2015, 2020, etc.), se solicitará a la Secretaría de Marina, o a quien en su momento esté a cargo de la antena ERMEXS, el cubrimiento completo con imágenes SPOT (de los años 2015, 2020, etc.) de las áreas de manglar y sus áreas colindantes definidas por CONABIO (Áreas de estudio oficiales por regiones), de ser posible de una sola época o de meses cercanos. En lo posible se usará el mismo tipo de imágenes. También estará abierta la posibilidad del uso de imágenes de mayor resolución.

En cuanto a las imágenes MODIS estas se obtienen como parte de la recepción diaria de la que dispone la CONABIO a través de la antena disponible en sus instalaciones.

Manejo de datos

Todos los datos serán procesados en la CONABIO, en servidores especiales y espacios asignados para ello, al final de cada fecha de análisis se realizará un respaldo de la información final, tanto de los insumos, los análisis así como los resultados, debidamente etiquetados, indicando el año de análisis. Se podrá comparar los resultados del monitoreo con aquellos generados regionalmente por especialistas, siempre y cuando la metodología e insumos sean similares a los empleados en el presente sistema.

Mantenimiento

- **Periodicidad de actualización:** Cada 5 años
- **Medio de publicación:** Página de manglares y geo-portal de la CONABIO.
- **Adecuaciones:** En cualquier momento que el sistema lo requiera

Parámetros e indicadores seleccionados

Los parámetros e indicadores constituyen herramientas de comunicación para informar sobre el estado de una materia en particular. Por ello, los parámetros e indicadores responden a tres funciones principales: simplificación, cuantificación, y comunicación. De hecho, en general los parámetros e indicadores simplifican para poder convertir un fenómeno complejo en algo cuantificable, de forma que la información pueda así ser comunicada (Delbaere 2002). En el presente Sistema de Monitoreo se entenderá como parámetro a un dato que es tomado como necesario para analizar o valorar una situación. A partir del parámetro, una determinada circunstancia puede entenderse o situarse en perspectiva. Un indicador se entenderá como una medida utilizada para estimar y comparar las diferentes tendencias espaciales y temporales en los manglares en el área de estudio, según corresponda, a nivel Nacional, Estatal, Sitios Prioritarios, Sitios Piloto y parcelas de monitoreo.

A continuación se describen los parámetros e indicadores propuestos para el Sistema de Monitoreo de Manglares de México (Tabla 3.113) y posteriormente se desarrolla la descripción y características de cada uno de ellos (Tabla 3.114):

A nivel Nacional

Balance global de manglar: Este es un indicador que permitirá identificar de forma numérica las ganancias y pérdidas de superficie de manglar que existió entre el tiempo 1 y el tiempo 2 a nivel nacional.

Adicionalmente se incluirán el tipo de transformación ocurrida en el manglar según las clases de coberturas consideradas.

A nivel Estatal y de Sitios Prioritarios

Extensión de áreas de manglar: Proporción de superficie de manglar respecto al total presente en el área de estudio.

Áreas de cambios: Este indicador permitirá identificar de forma espacial los cambios de cobertura entre dos fechas de análisis, proporcionando información del cambio de una clase a otra, identificando ganancias o pérdidas, así como la tasa de cambio.

Tipo de cambios: Ganancias y pérdidas contabilizadas por clase origen y clase destino. Permitirá visualizar espacialmente aquellos sitios de manglar con algún tipo de afectación de origen antropogénico, básicamente desarrollo antrópico y agrícola-pecuario, que son las clases consideradas en la clasificación de las coberturas del suelo.

Patrones espaciales (Fragmentación, conectividad y relaciones de borde): Agregación o desagregación de las superficies de manglar en el área de estudio. La caracterización del paisaje se entiende como el patrón espacial de distribución de coberturas terrestres, considerando la interacción que presentan entre ellas. Esto permitirá reconocer sitios con una alta posibilidad de desaparecer o modificarse en el mediano plazo, como producto del avance de las fronteras agrícola-pecuaria y desarrollo antrópico; ya sea por la sustitución directa como por los efectos ya comprobados de la contaminación y alteración de los patrones hidrológicos comúnmente asociados a estos. Para el presente sistema de monitoreo el análisis de patrones espaciales se realizará con los mapas vectoriales finales que se elaboran en el marco del monitoreo de manglares. Cuando el análisis requiera el uso de información en formato raster, estos tendrán un valor pre-establecido de 10 metros por pixel.

A nivel de Sitios Piloto

A este nivel se consideran inicialmente el monitoreo en dos sitios: Laguna Pom-Atasta (Campeche) y Laguna Agua Brava (Nayarit). La ampliación de este tipo de monitoreo se realizará a otros sitios piloto si existen las condiciones necesarias de recursos financieros, importancia del área y disponibilidad de investigadores locales que apoyen esta actividad.

Parámetros biofísicos y biomasa vegetal (NDVI, EVI y LAI): Indicadores para detectar o identificar cambios del ecosistema manglar. El NDVI y EVI se fundamentan en el contraste de la respuesta de la vegetación en las longitudes del rojo en el espectro visible y las del infrarrojo cercano; al indicar verdor y vigor de la vegetación se considera que a mayor contraste entre las bandas existe una mayor presencia de vegetación con mayor verdor y en buenas condiciones, al contrario si el contraste es mínimo, indica que la vegetación es senescente o se encuentra bajo algún tipo de estrés o daño (Chuvieco, 2006). El LAI se define como área de un lado de la superficie de hojas por área de superficie de terreno (sin unidades específicas), es obtenido a partir de la relación con la fracción de la radiación fotosintéticamente activa, que muestra la proporción de radiación disponible en las longitudes de onda específicas para la fotosíntesis que el dosel puede absorber (400-700 nm) (Chuvieco, 2006). A nivel global es uno de los parámetros más utilizados para simular el rango de respuestas ecológicas a cambios provocados por efectos naturales o humanos, estableciendo patrones de fenología.

Estructura vegetal de la comunidad de manglar

La estructura de la vegetación se entiende como el patrón espacial de distribución de las especies, considerando la interacción que presentan entre ellas. Dicha interacción se explica a partir de la estructura de la comunidad vegetal de manglar, considerando variables verticales como la altura de los árboles y variables espaciales como el área basal. El monitoreo de la estructura vegetal de manglar permite identificar los cambios por los que ésta puede pasar a través del tiempo.

Dado que existen diferentes técnicas de muestreo para determinar la estructura de la vegetación, para propósitos de comparación, la CONABIO ha propuesto usar de forma general el método de Valdez-Hernández (2002), en parcelas permanentes de 20x20 m, las cuales al estar georreferenciadas es posible ubicarlas en las imágenes SPOT.

A nivel de Parcelas de Monitoreo

Los datos generados a partir del “Programa Regional para la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano: inicio de una red multi-institucional” así como del proyecto “Inventario y monitoreo del estado actual de los bosques de manglar de Chiapas y Oaxaca” que son financiados por CONABIO, serán integrados al Sistema de Monitoreo de Manglares de México. Este monitoreo es a nivel de parcelas permanentes de 20x20 m para caracterizar la estructura de la vegetación y 10x10m para la caracterización ambiental. Este tipo de información será utilizada posteriormente por la CONABIO para la calibración y clasificaciones realizadas con imágenes de diferentes sensores remotos para mejorar la calidad de los resultados obtenidos en el monitoreo de manglares.

En el presente informe solamente se realiza una descripción de los indicadores propuestos a nivel de parcelas (Tabla 3.115) que están siendo desarrollados y medidos por los grupos de investigadores regionales en los estados de Veracruz, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas y Oaxaca. Una vez que hayan concluido y enviado los informes finales de la primera etapa de cada proyecto, los resultados serán integrados al Sistema de Monitoreo de Manglares de México.

Tabla 3.113. Parámetros e indicadores del Sistema de Monitoreo de Manglares de México.

Nombre del indicador		Variable a medir	Unidad de medición	Rango
Balance global de superficie de manglar		Ganancias y pérdidas de manglar a nivel nacional	Hectáreas	
Proporción de áreas de manglar		Superficie de manglar entre el área de estudio a nivel estatal.	Hectáreas	
Áreas de cambio de manglar		Superficie de manglar.	Hectáreas	
Tipo de cambio en la cobertura de manglar		Característica del cambio: antrópico o natural.	Hectáreas	
Patrones espaciales	Fragmentación	Relación existente entre la dispersión de parches y el número de parches en la clase manglar.	Sin Unidades	
	Conectividad	Superficie de parches y uniones que se dan entre los parches de manglar.	Sin Unidades	
	Índice de amenaza/integridad al manglar	Superficie de contacto con clases potencialmente adversas (Antrópica y agrícola-pecuaria)	Sin Unidades	
Parámetros biofísicos	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, producto MODIS)	Cambios en la respuesta de la vegetación de manglar en los diferentes índices de vegetación. Nota: considerar que se requiere de un mínimo de área identificable de cobertura de manglar, sugerimos al menos 9 píxeles puros y continuos durante el periodo de estudio de esta cobertura.	Sin Unidades	Rango de valores de -1 a 1.
	Índice de Vegetación Mejorado (EVI, producto MODIS)		Sin Unidades	Rango de valores de -1 a 1.
	Índice de Área Foliar (LAI, producto MODIS)		m ² de superficie foliar/m ² de superficie.	
	Estimación de la estructura vegetal de la comunidad de manglar	Especies presentes	Número de especies presentes	
		Diámetro a la altura del pecho	Diámetro a la altura del pecho: centímetros.	
		Altura	Metros	
		Densidad	Número de árboles/ha	
		Área basal	m ² /ha	
		Índice de Área Foliar (obtenido con mediciones de campo)	m ² de superficie foliar/m ² de superficie.	

Tabla 3.114. Descripción y características de los parámetros e Indicadores del Sistema de Monitoreo de Manglares de México.

Nombre del Indicador	Insumo	Producto	Qué describe	Qué preguntas responde	Nivel de análisis
Proporción de áreas de manglar	Mapa de Manglares por estado.	Extensión de áreas con manglar / Proporción del área de estudio que es representado por la clase manglar.	Provee información de cuanta cobertura de manglar aún existe y que podría ser utilizado como un importante hábitat de vida silvestre.	¿Cuánto de hábitat de manglar aún existe a nivel estatal / sitio prioritario?	-Estatad -Sitios prioritarios
Áreas de cambio de manglar	Mapa de uso del suelo y vegetación estatal, Fecha 1. Mapa de uso del suelo y vegetación estatal, Fecha 2.	Mapa de cambios.	Representación espacial de los cambios de cobertura entre dos fechas de análisis.	¿Dónde se ubican las principales áreas de manglar afectadas por actividades antropogénicas? ¿Dónde se ubican las principales áreas de manglar afectadas por actividades agropecuarias? ¿Cuáles son las áreas que se conservan?	-Estatad -Sitios prioritarios
		Matrices de cambio.	Contiene información del cambio de una clase a otra y su arreglo posibilita el cálculo del cambio (ganancia o pérdida) en conjunto y por clases en los mapas que se están evaluando.	¿Cuál es la clase con mayores ganancias/pérdidas? ¿Cuál es la tasa de cambio para los manglares o cualquier otra clase?	
		Tabla de extensión del uso del suelo y vegetación, que incluye la Tasa de cambio.	La superficie ocupada por cada una de las clases, así como las ganancias y pérdidas netas de cada una de ellas, incluye la tasa de cambio anual.	¿Qué superficie ocupaba la clase x en la Fecha 1 y 2? ¿Cuál es la clase con mayores incrementos? ¿Cuáles son las ganancias o pérdidas netas? ¿Cuál es la tasa de cambio anual para el ecosistema manglar?	
Tipo de cambio en la cobertura de manglar	Mapa de uso del suelo y Vegetación estatal (Fecha 1 y Fecha 2).	Mapa de tipos de cambio (específico para afectaciones antrópicas en manglar).	Presiones sobre manglar.	¿Dónde se encuentran las presiones de actividades antrópicas sobre manglar? ¿Cuáles son los principales agentes de cambio en el ecosistema manglar?	-Estatad -Sitios prioritarios

Nombre del Indicador		Insumo	Producto	Qué describe	Qué preguntas responde	Nivel de análisis
Patrones espaciales	Fragmentación	Mapa de parches de manglar a nivel estatal (Fecha 1 y Fecha 2).	Índice de fragmentación.	Un tipo de degradación que determina cambios en la relación perímetro/superficie y tiene una relación en la formación del área de borde y en la forma de las unidades de manglar.	¿Las actividades antrópicas y eventos naturales están incrementando la fragmentación del manglar?	- Estatal
	Conectividad	Mapa de parches de manglar a nivel estatal (Fecha 1 y Fecha 2).	Mapa de distribución de polígonos de manglar con su valor de Índice Integral de Conectividad (IIC).	Representación gráfica de las priorizaciones de los parches por su contribución a la conectividad del paisaje, lo cual provee criterios objetivos para la selección de las áreas más críticas de hábitat para la conservación o rehabilitación del paisaje.	¿Específicamente en qué sitios deberían enfatizarse esfuerzos de rehabilitación o conservación de manglares?	- Estatal - Sitios prioritarios
	Índice de Amenaza / Integridad al manglar	Mapa de uso del suelo y Vegetación estatal (Fecha 1 y Fecha 2).	Índice de amenaza / Integridad por longitud de frontera compartida con clases antrópicas (IA _L).	Estos indicadores describen la presión que los parches de manglar están soportando en sus bordes debido a los usos del suelo adyacentes.	¿Los parches de manglar se encuentran con mayor presión por las actividades antrópicas con relación al Tiempo inicial de análisis?	-Estatal -Sitios prioritarios
			Índice de Amenaza / Integridad por superficie de clases antrópicas adyacentes (IA _S).			
			Perímetro en km lineales de la clase manglar que está en contacto con clases potencialmente adversas (Antrópica y Agrícola-Pecuaria).			

Nombre del Indicador		Insumo	Producto	Qué describe	Qué preguntas responde	Nivel de análisis
Parámetros biofísicos	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, producto MODIS)	Compuestos de productos MODIS NDVI (MOD13Q1).	Serie de tiempo para NDVI.	Estos indicadores permiten determinar cambios en la condición de la vegetación de manglar a través del tiempo ¹ .	¿La cobertura de manglar en cada área de estudio tiene una firma temporal representativa? ¿Se presentan variaciones en la respuesta de la cobertura de manglar a los diferentes índices de vegetación durante el periodo de estudio?	-Sitios piloto de manglar (Laguna Pom Atasta, Campeche y Laguna Agua Brava, Nayarit) Coberturas de manglar con un área mínima identificable de 9 píxeles.
	Índice de Vegetación Mejorado (EVI, producto MODIS)	Compuestos de productos MODIS EVI (MOD13Q1).	Serie de tiempo para EVI.			
	Índice de Área Foliar (LAI, producto MODIS)	Compuestos de productos MODIS LAI (MOD15A2).	Serie de tiempo para LAI.			
Estimación de la estructura vegetal de la comunidad de manglar		Información obtenida de muestreos de campo: especies, alturas, diámetros a la altura del pecho, densidad y área basal.	Estructura vegetal de la comunidad de manglar.	La interacción estructural de la comunidad de manglar a partir de la obtención de variables físicas como especies, alturas y diámetros de los individuos que se registran.	¿Cómo es la estructura de la comunidad de manglar?	-Sitios piloto de manglar Inicialmente en Laguna Pom Atasta (Campeche) y Laguna Agua Brava, (Nayarit).
Estimación de biomasa vegetal in situ		Información obtenida de muestreos de campo: especies, alturas, diámetros a la altura del pecho.	Biomasa en toneladas por hectárea.	La biomasa vegetal por arriba del suelo en cada una de las unidades de muestro y clases de manglar.	¿Cuál es la cantidad de biomasa (ton/ha) por unidad de muestreo? ¿Cuál es la cantidad de biomasa (ton/ha) por clase de manglar identificada por técnicas de percepción remota? ¿Cuál es la cantidad de biomasa (ton/ha) por especies en unidad de muestreo? ¿Cuál es la cantidad de biomasa (ton/ha) por especies por clases de manglar identificadas con técnicas de percepción remota?	-Sitios piloto de manglar Inicialmente en Laguna Pom Atasta (Campeche) y Laguna Agua Brava, (Nayarit).

¹ Como condición de la vegetación de manglar nos referimos: al estado inicial de respuesta de esta cobertura a los diferentes índices de vegetación evaluados en este estudio. Es importante mencionar que debido a que la mayoría de los índices están relacionados con actividad fenológica, desarrollo e incremento de crecimiento, inicio de verdor, pico de verdor y cambios estacionales de la vegetación, el término condición enmarcará estas características

Tabla 3.115. 3Indicadores para la caracterización biológica y ambiental a nivel de Parcelas de monitoreo.

Nombre del Indicador	Insumo	Producto	Qué describe	Qué preguntas responde	Nivel de ejecución
Estimación de la estructura vegetal de la comunidad de manglar	Información obtenida de muestreos de campo: especies, alturas, diámetros a la altura del pecho, densidad, área basal e incrementos dimétricos.	Estructura vegetal de la comunidad de manglar.	La interacción estructural de la comunidad de manglar a partir de la obtención de variables físicas como especies, alturas y diámetros de los individuos que se registran.	¿Cómo es la estructura de la comunidad de manglar? ¿La estructura de la comunidad de manglar está relacionada con variables ambientales (parámetros químicos del agua intersticial y suelos)? ¿La estructura de la comunidad de manglar está relacionada con cambios en el hidropereodo y la microtopografía? ¿La estructura de la comunidad de manglar está relacionada con la productividad de hojarasca y raíces finas?	-Parcelas de Monitoreo Áreas de monitoreo de manglar del “Programa regional para la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano” e “Inventario y monitoreo del estado actual de los bosques de manglar de Chiapas y Oaxaca” financiadas por la CONABIO.
Productividad vegetal	Información obtenida de muestreos de campo: medición de la producción de hojarasca y medición de la producción de raíces finas.	Estimaciones de la productividad de hojarasca. Estimaciones de la producción de raíces finas en el suelo.	La estimación de la productividad de hojarasca es uno de los métodos más comunes para estimar la productividad primaria de los bosques de manglar, principalmente la relacionada con la producción de hojas (Alongi 2009). Las estimaciones de la producción de raíces finas en el suelo, están relacionadas con la biomasa que se puede estimar por debajo del suelo, además de los efectos de descomposición de la materia (Alongi 2009).	¿Cómo es la productividad vegetal de los ecosistemas de manglar? ¿Cómo se relaciona la productividad primaria neta con la producción de hojarasca y la producción de raíces finas? ¿La producción de hojarasca está relacionada con la estructura vegetal de la comunidad de manglar? ¿La producción de hojarasca está relacionada con los parámetros químicos del agua intersticial y suelo? ¿La producción de hojarasca está relacionada con cambios en el hidropereodo y la microtopografía? ¿La producción de raíces finas en suelo está relacionada con la	-Parcelas de Monitoreo Áreas de monitoreo de manglar del “Programa regional para la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano” e “Inventario y monitoreo del estado actual de los bosques de manglar de Chiapas y Oaxaca” financiadas por la CONABIO.

Nombre del Indicador	Insumo	Producto	Qué describe	Qué preguntas responde	Nivel de ejecución
				estructura vegetal de la comunidad de manglar? ¿La producción de raíces finas en suelo está relacionada con los parámetros químicos del agua intersticial y suelo? ¿La producción de raíces finas está relacionada con cambios en el hidropериodo y la microtopografía?	
Parámetros químicos de agua intersticial	Información obtenida de muestreos de campo: salinidad intersticial, pH y potencial redox.	Valores de salinidad intersticial. Valores de pH en agua intersticial. Valores de potencial Redox en agua intersticial. Valores de temperatura en agua intersticial.	Valores de salinidad en agua intersticial: La salinidad describe la concentración de sales en el medio acuoso. La salinidad juega un rol vital en la distribución de especies, la productividad vegetal y el crecimiento de los manglares (Kathiresan y Qasim 2005). Valores de pH en agua intersticial: Es una medida de acidez o basicidad de una solución. Las condiciones de reducción-oxidación y el pH están relacionados, Valores de potencial redox: Son reacciones de transferencia de electrones entre elementos oxidantes y reductores. En los manglares son indicadores de las condiciones de anaerobiosis a las que pueden estar sujetas las estructuras vegetales subterráneas, así como de la profundidad y temporalidad de la inundación (Flores-Verdugo <i>et al.</i> 2007).	¿Cómo se interrelacionan los parámetros químicos del agua intersticial? ¿Cómo se interrelacionan los parámetros químicos del agua intersticial con los parámetros químicos del suelo ¿Cómo influyen los parámetros químicos del agua intersticial en la estructura de la comunidad de manglar?	-Parcelas de Monitoreo Áreas de monitoreo de manglar del “Programa regional para la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano” e “Inventario y monitoreo del estado actual de los bosques de manglar de Chiapas y Oaxaca” financiadas por la CONABIO.
Parámetros químicos del suelo	Información obtenida de muestreos de campo: pH, potencia redox, materia orgánica, nitrógeno fosforo.	Valores de pH del suelo. Valores de potencia redox del suelo. Valores de materia	Los valores de pH y redox en el suelo describen los mismos valores que en el agua intersticial, sin embargo éstos son controlados por diferentes	¿Cómo se interrelacionan los diferentes parámetros químicos del suelo? ¿Cómo influyen los parámetros	-Parcelas de Monitoreo Áreas de monitoreo de manglar del

Nombre del Indicador	Insumo	Producto	Qué describe	Qué preguntas responde	Nivel de ejecución
		orgánica en suelo. Valores de nitrógeno en suelo. Valores de fosforo en suelo.	factores, entre los que destaca: la concentración y composición de materia orgánica e inorgánica, la elevación de la marea, el contenido de agua, la actividad microbiana y las actividades antrópicas (Alongi 2009). Valores de materia orgánica: La materia orgánica está relacionada con la presencia/ausencia de los parámetros químicos mencionados en este mismo apartado. A su vez, la materia orgánica se relaciona con la productividad primaria de los manglares (Alongi 2009). Los valores de nitrógeno y fosforo están relacionados con los procesos de óxido-reducción en el suelo, su disponibilidad como nutrientes para los manglares y la composición y distribución de las especies (Alongi 2009).	químicos del agua intersticial en la estructura de la comunidad de manglar?	“Programa regional para la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano” e “Inventario y monitoreo del estado actual de los bosques de manglar de Chiapas y Oaxaca” financiadas por la CONABIO.
Hidroperiodo	Registro y cambio en los niveles de inundación.		El hidroperiodo es el patrón resultante de la frecuencia y la duración de la inundación, que determina las condiciones de oxido-reducción. El hidroperiodo es importante para el mantenimiento de la estructura y funcionamiento de los manglares, ya que crea las condiciones físicas y químicas que se relacionan con la anaerobiosis del suelo, la acumulación de materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes, la riqueza y composición de especies y la productividad primaria (Flores-Verdugo <i>et al.</i>	¿Cómo influye el hidroperiodo en la estructura vegetal de la comunidad de manglar? ¿Cómo influye el hidroperiodo en la producción de hojarasca y raíces finas? ¿Cómo influye en hidroperiodo en la composición de los parámetros químicos del agua intersticial? ¿Cómo influye en hidroperiodo en la composición de los parámetros químicos de suelo?	-Parcelas de Monitoreo Áreas de monitoreo de manglar del “Programa regional para la caracterización y el monitoreo de ecosistemas de manglar del Golfo de México y Caribe Mexicano” e “Inventario y monitoreo del estado actual de los bosques de manglar de Chiapas y Oaxaca”

Nombre del Indicador	Insumo	Producto	Qué describe	Qué preguntas responde	Nivel de ejecución
			2007).		financiadas por la CONABIO.
Microtopografía	Medición de cambios en el nivel del suelo.	Perfil micro-topográfico de las áreas de estudio.	La microtopografía cuantifica las pequeñas variaciones en los niveles del suelo. La microtopografía en humedales permite determinar la distribución de los diferentes tipos de humedales, áreas potenciales de restauración, entre otras (Flores-Verdugo <i>et al.</i> 2007).	¿Cómo influye la microtopografía en la estructura vegetal de la comunidad de manglar? ¿Cómo influye el hidroperiodo en la producción de hojarasca y raíces finas? ¿Cómo influye la microtopografía en la composición de los parámetros químicos del agua intersticial? ¿Cómo influye la microtopografía en la composición de los parámetros químicos de suelo? ¿Cómo se relaciona la microtopografía y el hidroperiodo?	Sitios piloto de manglar Áreas de monitoreo de manglar financiadas por la CONABIO Áreas de manglar

Línea Base del Sistema de Monitoreo de Manglares de México

A partir de la utilización de la información generada en la primera, segunda y tercera etapa del proyecto “Manglares de México” se estimaron los parámetros e indicadores propuestos para el sistema de monitoreo, con el fin de generar una línea base (1981) y el primer análisis de tendencias (2005). La fecha propuesta para la línea base o Fecha 1 se obtuvo tomando en cuenta el año de las fotografías aéreas o imágenes de satélite con la mayor superficie de manglar encontrada.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en esta fase del monitoreo (Tablas 3.116 a la 3.119).

Tabla 3.116. 3Resultados a Nivel Nacional del Sistema de Monitoreo de Manglares de México.

INDICADORES	1981*		2005		2010	
Superficie de Manglar (ha)	856,308		774,090			
Balance Global de superficie de Manglar (ha)*	na		-82,218			
Tipo de cambio en la cobertura de manglar (ha):	Pérdida	Recuperación	Pérdida	Recuperación	Pérdida	Recuperación
Manglar-Desarrollo antrópico	na	na	5,959.50	337.70	--	--
Manglar-Agrícola-pecuaria	na	na	20,170.30	4,013.90	--	--
Manglar-Otra vegetación	na	na	26,128.30	5,154.90	--	--
Manglar-Sin vegetación	na	na	1,292.30	361.80	--	--
Manglar-Manglar perturbado	na	na	7,635.00	105.10	--	--
Manglar-Otros humedales	na	na	66,467.60	41,183.80	--	--
Manglar-Cuerpos de agua	na	na	13,300.40	8,083.90	--	--

Nota: No se consideran en la estimación de cambios 506 ha debido a la presencia de nubes sobre el manglar en alguna de las 2 fechas de análisis.

* La superficie de manglar de esta fecha corresponde al 62% para la década de los setentas, 36% para la década de los ochentas y 2% para el año 1990, de acuerdo con el material histórico disponible (fotografías e imágenes de satélite).

El resultado obtenido a este nivel nos indica que en el periodo de análisis existió una pérdida de 82,218 ha, lo que representa un 9.6% de la superficie estimada de manglar para la primera fecha. Debido a que, para generar los mapas de la Fecha 1 se utilizaron, para cada estado, fotos e imágenes Landsat de diferentes años (Figuras 2.5, 2.6 y 2.7), se obtuvieron tasas de transformación para cada estado considerando esta variación de años en la fuentes de referencia y se ponderó de acuerdo con la superficie total del área de manglar a nivel nacional. Posteriormente se realizó una suma algebraica de las tasas ponderadas de transformación estimada por estado y de esta forma se obtuvo una tasa de transformación de 0.42% de pérdida anual de los ecosistemas de manglar en el país.

También es importante mencionar que estos resultados obtenidos presentan una confiabilidad próxima al 90% que es el resultado obtenido en la evaluación del mapa de manglares 2005, el cual fue la base para estos análisis de cambios.

Tabla 3.117. 3Resultados a Nivel Estatal del Sistema de Monitoreo de Manglares de México (parte I).

Estado	Superficie total de manglares (Escala 1:50,000)			Proporción de áreas de manglar ¹			Áreas de cambio de manglar(ha)			Fragmentación ²			Conectividad ³			Índice Amenaza/integridad(longitud) ⁴			Índice Amenaza/integridad(área) ⁵		
	Fecha 1981 (ha)	Fecha 2005 (ha)	Fecha 2010 (ha)	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3
Tamaulipas	2,831	3,281	3,095	0.018	0.021	--	na	451	--	20.55	13.72	--	0.013	0.007	--	0.03	0.05	--	0.23	0.46	--
Veracruz	44,820	39,211	37,841	0.065	0.057	--	na	-5,609	--	80.69	53.87	--	0.006	0.004	--	0.1	0.1	--	0.37	0.4	--
Tabasco	41,999	44,982	44,590	0.088	0.094	--	na	3,047	--	104.4	60.52	--	0.014	0.003	--	0.12	0.16	--	0.12	0.18	--
Campeche	216,969	199,662	197,620	0.146	0.134	--	na	-17,451	--	395.51	263.84	--	0.0019	0.0018	--	0.05	0.03	--	0.03	0.04	--
Yucatán	98,756	91,701	91,356	0.235	0.218	--	na	-7,041	--	89.56	66.4	--	0.0028	0.002	--	0.02	0.02	--	0.02	0.06	--
Quintana Roo	137,910	130,210	128,049	0.076	0.072	--	na	-7,097	--	50.92	42.77	--	0.0008	0.0007	--	0.01	0.02	--	0.01	0.02	--
Baja California	36	36	36	0.002	0.002	--	na	0	--	4.65	4.65	--	0.281	0.281	--	--	--	--	0	0.04	--
Baja California Sur	26,724	26,519	26,694	0.053	0.052	--	na	-205	--	40.51	40.1	--	0.0123	0.0126	--	0	0	--	0.01	0.02	--
Sonora	10,940	11,098	11,334	0.029	0.03	--	na	158	--	24.19	22.48	--	0.016	0.015	--	0	0.03	--	0.02	0.13	--
Sinaloa	82,074	79,065	77,088	0.081	0.078	--	na	-3,009	--	72.41	49.34	--	0.0057	0.0053	--	0.04	0.07	--	0.21	0.28	--
Nayarit	78,024	69,784	66,920	0.218	0.195	--	na	-8,240	--	133.11	76.15	--	0.004	0.002	--	0.05	0.08	--	0.35	0.43	--
Jalisco	8,098	2,150	2,201	0.087	0.023	--	na	-5,948	--	50.84	24.81	--	0.0121	0.0181	--	0.16	10.00	--	0.19	0.40	--
Colima	6,589	3,294	3,237	0.081	0.041	--	na	-3,295	--	46.66	36.51	--	0.022	0.013	--	0.16	0.1	--	0.51	0.57	--
Michoacán	1,788	1,543	1,419	0.04	0.034	--	na	-246	--	21.97	17.53	--	0.021	0.018	--	0.44	0.41	--	0.61	0.75	--
Guerrero	16,348	8,434	8,123	0.058	0.03	--	na	-7,913	--	55.14	19.36	--	0.014	0.017	--	0.29	0.16	--	0.38	0.48	--
Oaxaca	28,501	18,522	18,607	0.065	0.042	--	na	-9,979	--	62.80	20.92	--	0.007	0.002	--	0.14	0.05	--	0.14	0.20	--
Chiapas	53,901	44,598	46,276	0.154	0.127	--	na	-9,303	--	259.17	164.09	--	0.011	0.007	--	0.19	0.09	--	0.43	0.43	--

¹ El incremento de los valores indican mayor cobertura de manglar. Rango de valores de 0 a 1.

² El decremento de los valores indican mayor fragmentación. Rango de valores de 0 a infinito.

³ El incremento de los valores indican mayor conectividad entre los parches. Rango de valores de 0 a 1.

⁴ El incremento de los valores indican mayor perímetro compartido entre manglar con coberturas antropogénicas. Rango de valores de 0 a 1.

⁵ El incremento de los valores indican que la superficie de cobertura antropogénica que es limítrofe al manglar se incrementó.

Nota: Las cifras de cambio pueden variar de aquellas que se estimen a partir de las Tablas de Extensión del uso del suelo y vegetación de cada estado. Esto se debe a la exclusión, con fines de cálculo, en las matrices de cambio de la clase 9 (Otros), que representa áreas con nubes o donde no se pudo obtener información. Las cifras de este cuadro se obtuvieron de las matrices de cambio para cada estado

Tabla 3.118. 3Resultados a Nivel Estatal del Sistema de Monitoreo de Manglares de México (parte II).

Estado	Cambios entre Fecha 1 y Fecha 2 (ha)													
	Manglar-Desarrollo antrópico		Manglar-Agrícola-pecuaria		Manglar-Otra vegetación		Manglar-Sin vegetación		Manglar-Manglar perturbado		Manglar-Otros humedales		Manglar-Cuerpos de agua	
	Perdidas	Ganancias	Perdidas	Ganancias	Perdidas	Ganancias	Perdidas	Ganancias	Perdidas	Ganancias	Perdidas	Ganancias	Perdidas	Ganancias
Tamaulipas	81.60	15.40	21.10	35.80	149.30	104.90	12.50	41.10	0.00	0.00	566.50	751.80	230.10	562.60
Veracruz	204.40	0.30	1,107.00	467.20	3,051.00	180.30	97.90	25.30	82.30	0.00	5,876.50	3,982.30	341.00	495.60
Tabasco	445.90	44.40	1,174.00	409.40	1,420.00	1,061.00	38.00	4.60	35.40	0.00	5,198.20	10,027.90	488.00	299.60
Campeche	403.10	77.50	1,749.60	726.80	4,039.00	688.00	114.70	25.00	169.40	2.30	19,397.00	8,999.30	2,723.70	651.70
Yucatán	142.90	25.20	53.80	161.00	399.50	201.00	30.10	20.60	1,947.30	0.00	6,305.40	1,583.50	212.20	59.20
Quintana Roo	1,621.00	4.70	7.90	3.20	581.20	147.50	104.50	13.90	461.30	0.00	4,295.10	373.00	1,180.00	612.10
Baja California	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Baja California Sur	7.60	0.00	0.00	0.00	14.30	3.20	74.50	3.10	0.00	0.00	101.90	26.20	59.60	20.10
Sonora	106.80	2.60	0.00	35.40	37.80	57.80	22.00	33.90	0.00	0.00	407.60	610.90	367.00	358.60
Sinaloa	877.30	47.20	374.40	272.90	483.10	365.00	97.90	30.60	145.30	38.10	5,274.10	3,463.00	949.80	976.00
Nayarit	645.40	5.20	2,431.10	169.40	1,528.30	279.50	126.90	53.40	4,603.30	0.00	4,917.50	5,143.10	1,889.20	2,193.40
Jalisco	200.20	3.70	2,617.70	50.40	2,691.50	22.50	130.00	12.60	0.00	64.70	456.30	169.20	248.10	72.50
Colima	213.40	36.50	1,172.10	118.90	110.60	9.20	16.70	15.20	0.00	0.00	2,113.20	317.50	318.50	152.20
Michoacán	161.60	2.10	161.90	85.30	56.50	24.50	6.10	0.60	0.00	0.00	117.20	176.20	62.20	31.30
Guerrero	397.30	4.30	4,111.10	595.20	1,845.10	222.80	67.60	21.00	70.00	0.00	2,893.20	1,199.90	897.60	325.50
Oaxaca	75.40	65.40	1,974.10	499.80	6,238.50	912.00	160.60	51.40	0.00	0.00	3,148.50	1,063.50	1,292.80	318.90
Chiapas	375.60	3.20	3,214.50	383.20	3,482.60	875.70	192.30	9.50	120.70	0.00	5,399.40	3,296.50	2,040.60	954.60

Nota: Fecha1 Corresponde a la fecha ponderada para cada estado; Fecha 2 corresponde al año 2005.

Tabla 3.119. 3Resultados a Nivel Sitios Piloto del Sistema de Monitoreo de Manglares de México.

Sitio	Fechas	Parámetros Biofísicos (valores máximos) *						Especie	INDICADORES		
									Estimación de la estructura vegetal de la comunidad de manglar (promedio de sitios)		
		NDVI		EVI		LAI			Altura promedio de árboles (m)	Densidad (árboles/ha)	Area basal (m²/ha)
valores min/max serie de tiempo	Valor promedio de series de tiempo	valores min/max serie de tiempo	Valor promedio de series de tiempo	valores min/max serie de tiempo	Valor promedio de series de tiempo						
Laguna PomAtasta	FECHA 1	--	--	--	--	--	--	<i>L. racemosa</i>	--	--	--
								<i>R. Mangle</i>	--	--	--
	FECHA 2	0.80-0.91	0.86	0.44-0.65	0.54	1.57-5.18	3.22	<i>Especies de Selva baja inundable</i>	6.30	1,146	16.20
								<i>L. racemosa</i>	11.50	17	0.62
								<i>R. Mangle</i>	17.82	121	11.60
	FECHA 3	--	--	--	--	--	--	<i>L. racemosa</i>	--	--	--
								<i>R. Mangle</i>	--	--	--
Agua Brava	FECHA 1	--	--	--	--	--	--	<i>A. germinans</i>	--	--	--
								<i>L. racemosa</i>	--	--	--
								<i>R. Mangle</i>	--	--	--
	FECHA 2	0.62-0.86	0.77	0.36-0.49	0.42	1.25-3.96	2.38	<i>A. germinans</i>	5.10	124	0.40
								<i>L. racemosa</i>	6.40	2,875	13.80
								<i>R. Mangle</i>	6.00	1,256	5.90
	FECHA 3	--	--	--	--	--	--	<i>A. germinans</i>	--	--	--
<i>L. racemosa</i>								--	--	--	
<i>R. Mangle</i>								--	--	--	

* Es recomendable utilizar un promedio anual. Este dato se está calculando, para fines ilustrativos se utiliza aquí el máximo del año de monitoreo

** Valores cercanos a 1 indican máximo verdor y vigor de la vegetación. Rango de valores de -1 a 1

*** Valores cercanos a 10 indican la máxima cobertura foliar cubriendo la superficie del suelo Unidades m² de hojas (superficie foliar)/m² de superficie de suelo. Rango de valores de 0-10.

4. OTROS ALCANCES DEL PROYECTO

INFORMACIÓN EN EL GEOPORTAL DE LA CONABIO

Desde hace tiempo, instituciones y particulares han invertido una cantidad considerable de recursos en la obtención de datos espaciales con diversos propósitos, muchos de estos datos se encuentran almacenados en sistemas cerrados o al alcance de un reducido número de personas. Estos datos son un recurso fundamental para la toma de decisiones en los diferentes sectores relacionados con la problemática ambiental. Es por esto que se tiene considerado integrar diversos resultados de este proyecto en la página web de la CONABIO en el portal de geoinformación. En la sección de Biodiversidad en la que se creó una sección específica denominada *Monitoreo de Manglares*, en la que ya se encuentran disponibles algunos de los resultados de la primera etapa del proyecto. En la Tabla 4.1 se mencionan los productos que quedarán integrados en el geoportal mencionado.

Tabla 4.1. Productos que se encontrarán disponibles en el geoportal en la sección de Biodiversidad, Monitoreo de Manglares.

Productos cartográficos	Cantidad
Mapa de las cinco zonas de estudio: Pacífico norte, Pacífico centro, Pacífico sur, Golfo de México y Península de Yucatán. (Formato vectorial)	1
Imágenes SPOT del 2005 (principalmente) en falso color, resolución del pixel 10m	134
Mapa de distribución de los manglares de México. (Formato vectorial)	1
Puntos de referencia de fotografías aéreas panorámicas de manglares (31,630 fotos)* (Formato vectorial)	31,630
Puntos de referencia de fotografías aéreas verticales de manglares (66,024 fotos)* (Formato vectorial)	66,024
Mapa de sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. (Formato vectorial)	1
Mapas de uso de suelo en los manglares y zona de influencia (5 km) de la República Mexicana, en el 2005 $\pm$ 2 años. (Formato vectorial) en coordenadas geográficas)	17
Mapas de uso de suelo en los manglares y zona de influencia (5 km) de la República Mexicana, en 1970 - 1980. (Formato vectorial) en coordenadas geográficas)	17
Mapas de cambio de cobertura, de los manglares y zona de influencia entre la Fecha 1 (1970-1980) y Fecha 2 (2005) (Formato vectorial) en coordenadas geográficas)	17
Mapas de cambio de manglar y zona de influencia entre la Fecha 1 (1970-1980) y Fecha 2 (2005) (Formato vectorial) en coordenadas geográficas)	17

* Además, de visualizar los puntos de referencia se pueden descargar las fotos con sus respectivos metadatos.

** Las imágenes SPOT sólo son de visualización con la finalidad de proporcionar información de referencia, por lo tanto, tienen baja resolución y no podrán ser obtenidas por este geoportal.

TALLER INFORMATIVO SOBRE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO

Al inicio de la primera etapa del proyecto se realizaron dos talleres informativos sobre éste y sobre los aspectos importantes a considerar en el diseño del Sistema de Información Geográfica y la validación de la cartografía generada. Finalmente, con el objetivo de dar a conocer los resultados que se obtuvieron en el proyecto y la forma de cómo mantener constantemente actualizado el Sistema de Monitoreo de los Manglares de México, la CONABIO organizó un taller, en sus instalaciones el día 2 de febrero de 2012, en el que se invitaron a las instituciones y especialistas en manglares.

CONCLUSIONES

ESTIMACIÓN DE CAMBIOS E IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES AGENTES DE TRANSFORMACIÓN DE LOS MANGLARES DE MÉXICO.

La exactitud global del mapa de uso del suelo y vegetación para el mapa de 2005 (Fecha 2) de la República Mexicana resultó en 76.96%. A nivel estatal, la evaluación de la exactitud ponderada de los mapas para la misma fecha (2005) del análisis están arriba del 75 %, excepto para Tabasco (69.88%), Campeche (74.73%) y Guerrero (68.14 %), lo que indica que los mapas temáticos presentan una adecuada correspondencia entre la asignación de cada una de las clases cartografiadas y los datos de campo, de acuerdo con los estándares de la Subdirección de Percepción Remota de la CONABIO.

Para el caso de los mapas temáticos de la fecha inicial, no se contó con información de campo o gabinete (fotos aéreas o imágenes de alta resolución) que permitiera estimar la exactitud y no se consideró adecuado utilizar las imágenes SPOT para evaluar la exactitud de esta fecha, ya que estas conformaron la Fecha 2 del periodo de análisis.

Los puntos de campo utilizados por el INEGI para validar la cartografía de la serie I, podrían haber servido para validar los mapas temáticos de la Fecha 1, sin embargo, resultaron con una distribución limitada y presentan una variación de fechas de levantamiento.

La dinámica de los cuerpos de agua (ríos, esteros, boca barras, etc.) es muy importante en las zonas costeras. Los cuerpos de agua presentan dinámicas naturales importantes de mediano y largo plazo, y se da aún más cuando ocurren huracanes o tormentas; por lo tanto, se deben de considerar en el análisis de los cambios.

En general, las tasas de cambio anuales estimadas para los manglares de cada uno de los estados fueron más bajas (menores a 1% -negativas-) en los estados del Golfo de México, incluso dos estados (Tamaulipas y Tabasco) registraron tasas de cambio positivas. En los estados de lado del Pacífico las tasas de cambio de manglar (negativas) son más altas, registrándose la mayor de ellas para el Jalisco (-3.94%) y sólo el estado de Sonora registró una tasa de cambio positiva.

Las tasas de cambio anuales de manglar (negativas) más importantes se registraron para los estados de Jalisco, Guerrero y Colima, por lo que sería prioritario impulsar medidas de protección y rehabilitación en los manglares de estos estados. Además, de que por sus características particulares, inherentes principalmente a la topografía, son los estados que reportan menos del 2% de la superficie de manglares del país. Si bien esta conclusión se relaciona básicamente con la tasa de cambio obtenida, es importante también considerar aquellos estados que han perdido grandes superficies de manglar como Campeche, Quintana Roo, Nayarit o Oaxaca. De tal forma que la tasa de cambio no debería ser la única referencia para detectar focos rojos relacionados con la transformación del ecosistema.

Cabe mencionar que a la escala de trabajo empleada en este proyecto (1:50,000) es muy probable que no se hayan detectado cambios en parches menores de una hectárea, por ejemplo el resultado obtenido para Baja California, en el que no se detectaron cambios en la cobertura de manglar.

Se debe considerar que los periodos analizados para cada uno de los estados son muy amplios (alrededor de 30 años), por lo que se recomienda incluir una fecha más de análisis intermedia, que permita detectar mejor las tendencias de cambio, ya que de acuerdo con diversos especialistas en manglar, los cambios más notables han ocurrido en la última década y con las únicas fechas analizadas en este proyecto esto no se puede detectar.

Como parte del sistema de monitoreo, actualmente se trabaja también en la elaboración del mapa de distribución de los manglares de México para el año 2010, con el uso de imágenes de satélite SPOT-5.

PATRONES E ÍNDICES ESPACIALES APLICADOS A MANGLARES

Es importante considerar que los índices utilizados a través del tiempo reflejan un cambio espacial, estructural y de composición de cada parche o del conjunto en general, sin que se pueda llegar, en este momento y con los insumos disponibles, a conclusiones sobre los aspectos ecológicos particulares del estado y conservación del manglar. Por otro lado también se tomó en cuenta que el ecosistema de manglar, en algunos casos puede estar fragmentado de forma natural, como es el caso de Los Petenes en el estado de Campeche.

Los índices empleados pueden ser considerados como una primera aproximación para entender las causas de deterioro o expansión de los bosques de manglar en diferentes regiones en una forma comparativa entre dos o más fechas de análisis.

Los índices no son comparables entre las diferentes áreas de estudio (estados de la República con presencia de manglar) debido a las dispares características de patrones de distribución espacial y factores que explican el origen o la presencia de los manglares. Solo llegan a ser comparables para el mismo estado en diferentes fechas de análisis.

En términos regionales, los índices de fragmentación nos pueden dar un panorama robusto de la degradación del hábitat. Por lo tanto los esfuerzos de la conservación deberían centrarse básicamente en la prevención de la reducción de las superficies de la cobertura natural.

En general la tendencia de los índices empleados vislumbra que los manglares se encuentran más fragmentados en la Fecha 2 (2005), con relación a los valores obtenidos en la Fecha 1, lo que sugiere la ausencia o baja aplicación de medidas de conservación y rehabilitación de este ecosistema.

Algunos de los índices evaluados (por ej. el Índice Integral de Conectividad) fueron estimados sólo para la clase de bosques de manglar, ya que los parches de manglar fueron considerados como el hábitat natural existente. Sin embargo sería recomendable considerar en futuros análisis otros tipos de vegetación natural presentes y que naturalmente están conectados entre sí en el paisaje.

De acuerdo con el análisis de Índice Integral de Conectividad, se detectaron para algunos estados que los parches con los valores más altos (Muy importantes) no se encuentran bajo protección mediante el esquema de Área Natural Protegida, por lo que sería recomendable analizar estos casos para evaluar la conveniencia de incluirlos bajo este u otro esquema de protección, para contribuir al mantenimiento y conectividad de los manglares, tal es el caso de Alvarado, Veracruz.

EXPLORACIÓN DE LOS PARÁMETROS BIOFÍSICOS Y ESTIMACIÓN DE BIOMASA VEGETAL EN MANGLARES

Generales

A partir de las series de tiempo realizadas con los índices de vegetación, fue posible identificar el rango de respuesta de la cobertura de manglar y las coberturas aledañas a éste durante el periodo de estudio para las dos áreas de estudio (Laguna Pom Atasta, Campeche y Laguna Agua Brava, Nayarit).

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), presentó una respuesta estacional y constante con menor presencia de ruido, a diferencia del Índice de Vegetación Mejorado (EVI), que tuvo una respuesta más ruidosa.

Los manglares del sitio de Laguna Pom Atasta, Campeche, presentaron los rangos de valores más altos de los índices analizados (NDVI, EVI, LAI), debido principalmente a un mayor desarrollo de sus características estructurales como alturas y áreas basales.

Respecto a la estructura de la comunidad de manglar, para Laguna Pom Atasta se presentaron los árboles más altos y desarrollados, con alturas mayores a 15 m y diámetros promedio de 10.47 cm; mientras para Laguna Agua Brava Nayarit, los árboles más altos presentaron cerca de 10 m y diámetros promedio de 7.80 cm. La biomasa estimada a partir de relaciones alométricas fue mayor para el sitio de Laguna Pom Atasta, Campeche.

La exploración de imágenes de radar para estimación de biomasa vegetal en ambos sitios, arrojó que con la polarización HV de ALOS Palsar es posible identificar una mayor cantidad de variabilidad en la respuesta de la coberturas y una mayor correlación positiva con la biomasa estimada a partir de relaciones alométricas. Sin embargo es importante mencionar que las relaciones obtenidas con la biomasa estimada en campo y la respuesta de las imágenes de radar para ambos sitios fueron menores a 0.5, lo que significa que es necesaria la exploración de otras técnicas de radar u otros insumos de percepción remota para mejorar la relaciones de biomasa vegetal estimada en campo y la respuesta de las imágenes de satélite.

Series de tiempo con compuestos MODIS (para efectos de monitoreo de la condición del manglar):

De esta exploración, se recomienda el uso de índices de vegetación (productos MODIS) con resolución de 250 metros como el NDVI o EVI.

Considerar un área mínima identificable en las áreas de estudio, ya que en áreas con cobertura de manglar muy pequeña no se podrá aislar píxeles puros de manglar para la realización de las series de tiempo por tipo de coberturas. Se sugiere, considerar al menos 9 píxeles puros de manglar y constantes durante el periodo de estudio.

Considerar que en caso de no presentarse algún factor detonante que modifique la respuesta de la cobertura de manglar durante el periodo de estudio, tan sólo se podrán detectar cambios relacionados a patrones estacionales.

El análisis de series de tiempo podría realizarse a nivel más detallado, considerando la cobertura de manglar y las diferentes coberturas que se puedan desarrollar alrededor de ésta. Se sugiere que si se cuenta con información de cobertura de manglar y coberturas aledañas, se realicen series de tiempo para cada una de estas, que muestren su comportamiento y sus rangos de valores en cada uno de los índices.

A partir de los datos generados con una serie de tiempo no sólo es posible identificar el estado o la condición de la vegetación, también con apoyo de otros insumos matemáticos en el caso de los índices de vegetación y área foliar, es posible establecer el stock y los cambios de productividad en ecosistemas vegetales a través del tiempo. A pesar de que con algunas series de tiempo es posible identificar periodos estables o cambios en la condición de la vegetación, es necesaria la exploración de procesos complementarios que permitan la mejor y mayor identificación de la varianza en las series, con la finalidad de puntualizar cambios en las firmas temporales de las coberturas de análisis.

Estructura

No es posible comparar las estructuras de distintos sitios de manglar para intentar describir un estado de conservación. Los cambios en la estructura de las comunidades vegetales de manglar son comparables sólo consigo mismas a través del tiempo; incluso para comparar la estructura de una comunidad de manglar dentro de la misma área de estudio, es necesario conocer las características fisonómicas del manglar.

Es importante hacer notar que a pesar de que la biomasa se estimó a partir de una fórmula alométrica calibrada para las diferentes especies de manglar, si se desea obtener una mayor precisión en la estimación de biomasa a partir de métodos no destructivos, es necesario (en el mejor de los casos), ajustar los coeficientes alométricos especie-sitio-específicos para cada una de las especies que se presenten en las áreas de estudio donde se vaya a realizar un muestreo intensivo.

Al aplicar formulas alométricas generales (como la aplicada en este estudio), se corre el riesgo de obtener inconsistencias, sub o sobrestimaciones de la biomasa vegetal.

En México no hay suficiente trabajo respecto a la generación de fórmulas alométricas más detalladas (especie-específico), motivo por el cual posiblemente en la zona de Laguna Pom Atasta, los valores de biomasa estén sobrestimados, ya que no se ha documentado para áreas de manglar de América latina y el Caribe valores de biomasa como los que se reportan en este estudio (Komiyama *et al*, 2008).

Tanto las variables estructurales como el LAI que se midió en campo son factibles de monitorear y pueden expresar de forma sencilla el estado estructural de la vegetación de manglar. Sin embargo para la estimación de biomasa *in situ* es necesaria el uso de formulas alométricas para cada especie en cada sitio, con la finalidad de obtener estimaciones de biomasa más certeras.

Biomasa con imágenes radar

Es necesario explorar la respuesta de otras longitudes de onda y polarizaciones, con la finalidad de identificar su nivel de respuesta y correlación con los datos de campo; también es necesario considerar el incremento de las unidades de muestro en las áreas de estudio, para contar con información disponible para la calibración de los modelos y su validación.

Es necesario explorar otras técnicas de radar (como manejo de fase para la obtención de coherencia y técnicas de interferometría radar), con la finalidad de mejorar los resultados, ya que varios autores sugieren una menor saturación de la respuesta de las señales a altas cantidades de biomasa (Luckman *et al.* 1997, Wagner *et al.* 2003, Santoro *et al.* 2007, Simard *et al.* 2006, Simard *et al.* 2008).

El monitoreo de la biomasa vegetal en campo es un indicador de los cambios que pudiesen presentarse en la vegetación a través del tiempo, sin embargo es necesario automatizar métodos y procesos para su estimación a partir de técnicas de percepción remota.

SISTEMA DE MONITOREO

Todos los métodos empleados para la generación de los productos de este proyecto son replicables y por lo tanto comparables entre los resultados que se obtendrán en fechas siguientes, ya sea por CONABIO o por otras instituciones, lo cual demuestra su utilidad en programas de monitoreo de diversos hábitats a largo plazo.

Con la aplicación del sistema de monitoreo se podrá realizar un seguimiento de los cambios en los valores de los diferentes índices utilizados en el presente estudio y se podrán priorizar los sitios específicos de manglar donde deberían aplicarse medidas de conservación o rehabilitación y de esta forma ser más eficientes en el ejercicio de recursos financieros que tengan como propósito el manejo de este ecosistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aburto-Oropeza, O., Ezcurra, E., Danemann, G., Valdez, V., Murray, J. y Sala, E., 2008, Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **105**(30), pp.10456-10459. Disponible en: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2492483&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>. (Fecha de acceso: 10 de julio de 2010).
- Acosta-Velázquez, J., 2003, *Análisis de la condición del bosque de manglar en el Sistema Lagunar Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales y sus relaciones a nivel de paisaje*. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., Mazatlán, México.
- Acosta-Velázquez, J., Rodríguez-Zuñiga, M. T., Cerdeira-Estrada, S., Cruz, I., Ressler, R., Ascensión, M., 2007, *Los manglares de México: estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 1a. etapa*. Informe del Proyecto DQ056. (México: CONABIO).
- Acosta-Velázquez, J., Rodríguez-Zuñiga, T., Díaz-Gallegos, J. R., Cerdeira-Estrada, S., Troche-Souza, C., Cruz, I., Ressler, R., Jiménez, R., 2009, Assessing nationwide spatial distribution of mangrove forest for Mexico: an analysis with high resolution images. 33rd International Symposium on Remote Sensing of Environment, Stressa, Italy. 4-8 de mayo.
- Acosta-Velázquez, J., Ruiz-Luna, A., 2007, Variación en la cobertura, distribución y estructura de los manglares del complejo lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas (1990-2005). En: *Estudios ecológicos en Bahía Magdalena*, R. Funes-Rodríguez, J. Gómez-Gutiérrez, R. Palomares G. (Eds.), pp. 127-141 (La Paz, Baja California Sur, México: CICIMAR-IPN).
- Alongi, D. M. 2009. *The energetics of mangrove forest*. (Netherlands: Springer). 216 pp.
- Amezcu-Linares, F. y Yañez-Arancibia, A., 1980, Ecología de los sistemas fluvio-lagunares asociados a la Laguna de Términos. El hábitat y estructura de las comunidades de peces. *Anales del Centro de Ciencia del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México*, **7**(1), 69-118.
- Arriaga C., L., Vázquez D., E., González C., J., Jiménez R., R., Muñoz L., E. y Aguilar S., V., (Coords.), 1998, *Regiones marinas prioritarias de México*. (México: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad).
- Arriaga C, L., Espinoza, J.M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez L. y Loa, E. (Coords.), 2000, *Regiones terrestres prioritarias de México*. (México: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad).
- Aschbacher, J., Ofren, R., Delsol, J. P., Suselo, T. B., Vibulsresth, S. y Charrupat, T., 1995, An integrated comparative approach to mangrove vegetation mapping using advanced remote sensing and GIS technologies: preliminary results. *Hydrobiologia*, **295**, 285-294.
- Baran, E. y Hambrey, J., 1998, Mangrove conservation and coastal management in Southeast Asia: What impact on fishery resources? *Marine Pollution Bulletin*, **37**, 431-440.
- Benfield, S. L., Guzman, H. M. y Mair, J. M., 2005, Temporal mangrove dynamics in relation to coastal development in Pacific Panama. *Journal of Environmental Management*, **76**(3), 263-276.
- Berlanga-Robles, C. y Ruiz-Luna, A., 2006, Evaluación de cambios en el paisaje y sus efectos sobre los humedales costeros del sistema estuarino de San Blas, Nayarit (México) por medio de análisis de imágenes Landsat. *Ciencias Marinas*, **32**(3), 523-538. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/480/48032304.pdf>. (Fecha de acceso: 22 de agosto de 2011).
- Berlanga-Robles, C. A. y Ruiz-Luna, A., 2007, Análisis de las tendencias de cambio del bosque de mangle del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava, México. Una aproximación con el uso de imágenes de satélite Landsat. *Universidad y Ciencia*, **23**(1), 29-46.
- Berlanga R., C., García C., R. R., López B., J., Ruiz L., A., 2010, Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973-2000). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (72), 7-22.
- Berlanga-Robles, C. A., Ruiz-Luna, A., Bocco, G. y Vekerdy, Z., 2011, Spatial analysis of the impact of shrimp culture on the coastal wetlands on the Northern coast of Sinaloa, Mexico. *Ocean & Coastal Management*, **54**(7), 535-543. doi:10.1016/j.ocecoaman.2011.04.004. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0964569111000494>. (Fecha de acceso: 10 de julio de 2011).
- Bridgewater, P. B., 1993, Landscape ecology, geographical information systems and nature conservation. En: *Landscape Ecology and GIS*, R. Haines-Young, D. R. Green y S. Cousins (Eds.), pp. 23-36 (Londres: Taylor and Francis).

- Bojórquez T., L.A., Díaz M., S. y Saunier, R., 1997, *Ordenamiento ecológico de la Costa Norte de Nayarit*. (México D.F.: Organización de los Estados Americanos, Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bossi, R. y Cintron, G., 1990, *Mangroves of the Wider Caribbean: Towards Sustainable Management*. (Washington: Caribbean Conservation Association, UNEP and the Panos Institute).
- Botello, V. A., 1978, Presencia de hidrocarburos fósiles en ecosistemas estuarinos del Golfo de México. *Revista Biológica Tropical*, **26** (Sup.1), 135-151.
- Carrascal E. y Pérez V., G., 1998, Ocupación territorial y deterioro ambiental ocasionado por la expansión urbano-turística en Acapulco, Guerrero. *Investigaciones Geográficas*, **37**, 111-116.
- Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública (CESOP), 2006, Antecedentes. En *Turismo*. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/cesop/Comisiones/2_turismo.htm. (Fecha de acceso: 13 de junio de 2011).
- Cepeda, M. F., 2005, *Laguna de Términos: Un Estuario de Importancia Local, Regional y Nacional*. (México: Pronatura – Península de Yucatán (PPY).
- Chávez D., R. M., Andrade R., E. y Espinoza S., R., 2006, Patrimonio, turismo y desarrollo sustentable: caso costa de Jalisco. *Teoría y Praxis*. (2), 9-23.
- Chuvieco S., E., 2006, *Teledetección ambiental*. 2ª Edición. (España: Ariel).
- Cintron, G. y Schaeffer-Novelli, Y., 1983, *Introducción a la ecología del manglar*. (Montevideo, Uruguay: Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe).
- Colditz, R. R., Conrad, C., Wehrmann, T., Schmidt, M. y Dech, S., 2008, TiSeG: A flexible software tool for Time-series generation of MODIS data utilizing the quality assessment science data set. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **46**(10), 3296-3308.
- Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (CEDES), 2008, *Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Costa de Sonora*. Hermosillo, Sonora.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 2009, *La reforestación de los manglares en la costa de Oaxaca. Manual Comunitario*. (Zapopan, Jalisco, México: CONAFOR).
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), 2008a, *Áreas Naturales Protegidas Federales de México*. Morelia, Michoacán, México.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), 2008b, *Sitios Ramsar en México*. Morelia, Michoacán, México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2005, Modelo Digital del Terreno de México. Escala 1:50,000. Extraído de los datos del CEM-INEGI, México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2007, Cuerpos de agua de México, con descripción y nombre. Escala 1:250,000.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2009a, *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*. (México D.F.: CONABIO). Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares/sitiosPrioritarios.html>. (Fecha de acceso: 3 de junio de 2011)
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2009b, *Manglares de México: Extensión y distribución*. (México: CONABIO).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Instituto Nacional de Ecología (INE), Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2006, Minuta de reunión. 14 de agosto de 2006. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/institucion/redes/doctos/reunion.pdf>. (Fecha de acceso: 14 de agosto de 2008).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), The Nature Conservancy (TNC) y Pronatura, 2007, *Vacios y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas*. (México, DF: CONABIO, CONANP, TNC Programa México y Pronatura A.C.).

- Comité Nacional Sistema-Producto Palma de Coco A. C. (CONACOCO), 2010, Relación de productores según el levantamiento y verificación de predios de cultivos perenes de palma de coco 2002 en el estado de Guerrero. Disponible en: <http://www.conacoco.com.mx/>. (Fecha de acceso: 20 mayo de 2011).
- Cruz-Torres, M. L., 2000, Pink Gold Rush: Shrimp Aquaculture, Sustainable Development, and the Environment in Northwestern Mexico. *Journal of Political Ecology*, 7, 63-90.
- Dallmeier, F. y Comiskey, J. A., 1998, Forest biodiversity assessment, monitoring, and evaluation for adaptive management. En: *Forest biodiversity research, monitoring and modeling*, F. Dallmeier y J. A. Comiskey (Eds.), pp. 3-17. Serie Man and the biosphere 20. (Londres, Inglaterra: The Parthenon Publishing Group).
- Danemann, G. D., Ezcurra, E. y Velarde, E., 2008, Conservación ecológica. En: *Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad. Línea base 2007*, G. D. Danemann y E. Ezcurra (Eds.), pp. 695-729 (México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Pronatura Noreste A.C. y San Diego Natural History Museum).
- Day, J. W. Jr, Conner, W. H., Ley-Lou, F., Day, R. H., Machado N., M., 1987, The productivity and composition of mangrove forests, Laguna de Términos, México. *Aquatic Botany*, 27, 267-284.
- De la Lanza, G., Ramírez G., P., Thomas, Y. F. y Alcántara, A. R., 1993, La vegetación de manglar en la laguna de Términos, Campeche, evaluación preliminar a través de imágenes Landsat. *Hidrobiológica*, 3(1-2), 29-39.
- De la Lanza E., G., Sánchez S., N., Sorani, V. y Bojórquez T., J. L., 1996, Características geológicas, hidrológicas y del manglar en la planicie costera de Nayarit, México. *Investigaciones Geográficas Boletín*, (32), 33-54.
- Delbaere, B., 2002, *An Inventory of Biodiversity Indicators in Europe, Final Draft*. (The Netherlands: European Centre for Nature Conservation).
- DeWalt, B. R., Ramírez Z., J., Noriega, L. y González, R. E., 2002, Shrimp Aquaculture, the People and The Environment in Coastal Mexico. Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment, 73 pp.
- Díaz-Gallegos, J. R. y Acosta-Velázquez, J., 2009, Tendencias en la transformación del uso del suelo y la vegetación aledaña. En: *El Sistema Ecológico de la Bahía de Chetumal/Corozal: Costa Occidental del Mar Caribe*, J. Espinoza A., G. A. Islebe y H. A. Hernández A. (Eds.), pp. 226-237 (Chetumal Quintana Roo, México: El Colegio de la Frontera Sur). Disponible en: <http://w2.ecosur-groo.mx/cna/julio/libbahia.pdf>. (Fecha de Acceso: 17 de mayo de 2011).
- Ducks Unlimited de México A. C. (DUMAC), 1990, Laguna Madre y Lagunas de Tamaulipas. *Ducks Unlimited de México, A.C. Magazine*, 12(3), 15-16.
- Duran, E., Gopar, F., Velázquez, A., López, F., Larrazabal, A. y Medina, C., 2007, Análisis de cambio en las coberturas de vegetación y usos de suelo en Oaxaca. II Simposio Biodiversidad de Oaxaca. Oaxaca, México. 25-27 de abril. Disponible en: [http://www.ciga.unam.mx/investigadores/zacatuche/PDF/617Abstracts%20en%20memorias%20de%20congresos%20\(resumenes\)/6171Nacionales/6171-8.pdf](http://www.ciga.unam.mx/investigadores/zacatuche/PDF/617Abstracts%20en%20memorias%20de%20congresos%20(resumenes)/6171Nacionales/6171-8.pdf). (Fecha de acceso: 10 de julio de 2011).
- Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC), 2006, PALSAR Reference Guide. Disponible en: <http://www.palsar.ersdac.or.jp/e/>. (Fecha de acceso: 24 de junio de 2010).
- Escobar, B., 2011, Marchan dos mil personas de Zihuatanejo y Petatlán contra Fonatur Operadora Portuaria. Rafaga Noticiera, Zihuatanejo, Guerrero, 1 de abril. Disponible en: <http://rafaganoticiera.blogspot.com/2011/04/marchan-dos-mil-personas-de-zihuatanejo.html>. (Fecha de acceso: 13 de junio de 2011).
- Farnsworth, E. y Ellison, A., 1997, The Global conservation status of mangroves. *Ambio*, 26(6), 329-334.
- Feller, I. C. y McKee, K. L., 1999, Small gap creation in Belizean mangrove forests by a wood-boring insect. *Biotropica*, 31(4), 607-617.
- Field, C. D., 1999, Charter for mangroves. En: *Ecosistemas de manglar en América Tropical*, A. Yañez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (Eds.), pp. 5-8. (Xalapa, Veracruz, México: Instituto de Ecología, A. C. México, UICN/HORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA).
- Fierro R., L. N., 2009, Ecoturismo en el estero del Soldado, Región Guaymas San Carlos. *Topofilia*, 1(3), 1-19.
- Flores M., M.A., Aguirre V., A., Flores H., M. y Guardado G., X., 2010., El impacto que produce el sector turismo en los manglares de las costas mexicanas. *Contactos*, (77), pp.33-38.

- Flores-Verdugo, F. J., 1989, Algunos aspectos sobre la ecología, uso e importancia de los ecosistemas de manglar. En: *Temas de Oceanografía Biológica en México*, J. Rosa-Vélez y F. González-Farías (Eds), pp. 21-56. (Ensenada: Universidad Autónoma de Baja California).
- Flores-Verdugo, F., Moreno-Casasola, P., Agraz-Hernández, C. M., López-Rosas, H., Benítez-Pardo, D., Travieso-Bello, A. C., 2007, La topografía y el hidropedimento: dos factores que condicionan la restauración de los humedales costeros. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, Suplemento (80), 33-47.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1996, *Forest Resources Assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. Forestry Paper 130. (Roma, Italia: FAO).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2005, *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. Informe Nacional. México*. Informe FRA2005/189. (Roma, Italia: Departamento Forestal, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).
- Fondo Nacional de Fomento al Turismo (FONATUR), 2001. Escalera Náutica del Mar de Cortés: El Megaproyecto turístico del siglo XXI. Disponible en: <http://www.escalernautica.com/general.html>. (Fecha de acceso: 11 de abril de 2011).
- Forman, R. T. T., 1995, *Land Mosaics: the ecology of landscapes and regions*. (Inglaterra: Cambridge University Press).
- Forman, R.T., y Godron, M., 1986, *Landscape Ecology*. (New York: John Wiley and Sons).
- Gang, P. O. y Agatsiva, J. L., 1992, The current status of mangroves along the Kenyan coast: a case study of Milda Creek mangroves based on remote sensing. *Hydrobiologia*, **247**, 29-36.
- García, E. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 1998, Climas (Clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1,000,000. México.
- Giri, C., Zhu, Z., Tieszen, L. L., Singh, A., Gillette, S. y Kelmelis, J. A., 2008, Mangrove forest distributions and dynamics (1975-2005) of the tsunami-affected region of Asia. *Journal of Biogeography*, **35**, 519-528.
- Giri, C., Ochieng E., Tieszen L., Zhu Z., Singh, A., Loveland T., Masek J. y Duke N., 2010, Status and distribution of mangrove forest of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*. 1-6.
- Glenn, Edward P., Nagler, P. L., Brusca, R. C. y Hinojosa-Huerta, O., 2006, Coastal wetlands of the northern Gulf of California: inventory and conservation status. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, (16), 5-28.
- Gobierno del estado de Jalisco. 1999. Acuerdo mediante el cual se aprueba el Programa de Ordenamiento Ecológico de la Región denominada "Costa Alegre" del Estado de Jalisco. Publicado en el Periódico Oficial "El Estado de Jalisco" el 15 de enero de 1999. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos%20decretados/acuerdo1_costajalisco.pdf. (Fecha de acceso: 3 de junio de 2011).
- Green, E. P., Mumby P. J., Edwards, A. J., Clark, C. D. y Ellis, A. C., 1997, Estimating leaf area index of mangrove from satellite data. *Aquatic Botany*, **58**(1), 11-19.
- Green, E. P., Clark, C. D., Mumby, P. J., Edwards, A. J. y Ellis, A. C., 1998, Remote sensing techniques for mangrove mapping. *International Journal of Remote Sensing*, **19**(5), 935-956.
- Green, E. P., Mumby, P. J., Edwards, A. J. y Clark, C. D., 2000, *Remote sensing handbook for tropical coastal management*. (Paris, Francia: UNESCO Publishing).
- Group on Earth Observations (GEO) – Forest Carbon Tracking (FCT), 2009, Validation/calibration sites for Mexico. Documento interno.
- Mangrove Environmental Protection Group, 2001, Diagnóstico socioambiental de la zona estuarina y de manglar del municipio de San Blas, Nayarit. Disponible en: <http://www.elmanglarsanblas.com/docs/DiagnosticoManglar.pdf>. (Fecha de acceso: 9 de noviembre de 2011).
- Guerra M., V. y Ochoa G., S., 2006, Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. **59**, 7-25.
- Gurrutxaga S. V., M., 2003, *Índices de fragmentación y conectividad para el indicador de biodiversidad y paisaje de la Comunidad Autónoma del País Vasco*. 32 pp. (España: Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio). Disponible en: http://www.euskadi.net/r33-2732/es/contenidos/informe_estudio/indicadores_biodiversidad/es_doc/adjuntos/fragmentacion_2003.pdf. (Fecha de acceso: 29 de agosto de 2011).

- Hamilton, L. S. y Snedaker, S., 1984, *Handbook for mangrove area management*. (Honolulu, Hawaii: East West Center Environmental and Policy Center, IUCN y UNESCO).
- Hamilton, L. S., Dixon, J. A. y Muller, G. O., 1989, *Mangrove forest : An undervalued resource of land and sea. Ocean Yearbook 8*. (Chicago: The Univ. Chicago Press).
- Haralick, R. M., 1979, Statistical and structural approaches to texture. *Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers*, **67**, 786-804.
- Herz, R., 1999, Procesamiento digital de imágenes de satélite para el reconocimiento de patrones en los manglares. En: *Ecosistemas de manglar en América Tropical*, A. Yañez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (Eds.), pp. 83-108. (Xalapa, Veracruz, México: Instituto de Ecología, A. C. México, UICN/HORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA).
- Honorable Ayuntamiento de Tomatlán. 2010. Mega Proyecto Chalacatepec. Boletín de prensa 012/2010. Tomatlán, Jalisco. Publicado el 27 de enero de 2010. Disponible en: <http://www.tomatlanjal.gob.mx/boletines/12.pdf> (Fecha de acceso 3 de junio de 2011).
- Honorable Ayuntamiento Constitucional de Manzanillo, 2010, Plan Municipal de Desarrollo 2009-2012 del H. Ayuntamiento de Manzanillo. *Periódico Oficial del Gobierno Constitucional, Estado de Colima*, Suplemento 8(7), Sábado 13 de febrero de 2010.
- Holland, T. L., Mariscal R., J., Davison-Arnott, R., Cardille, J., 2011, Landscape changes in a coastal system undergoing tourism development: implications for Barra de Navidad Lagoon, Jalisco, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (74), 7-18.
- Houghton, R. A., 2005, Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology*, **11**, 945-958.
- Huerta G., M. A. y Propin F., E., 2000, Las dependencias regionales de los asentamientos humanos localizados en el parque nacional "Lagunas de Chacahua", Oaxaca. *Investigaciones Geográficas*, (41), 96-106.
- Huete, A., 1988, A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, **25**, 295-309.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X. y Ferreira, L. G., 2002, Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, **83**, 195-213.
- Huete, A., Justice, C. y Van Leeuwen, W., 1999, MODIS vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basis. Disponible en: https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_products_table. (Fecha de acceso: 22 de abril de 2011).
- Imhoff, M., 1995, Radar Backscatter and Biomass Saturation: Ramifications for Global Biomass Inventory. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **2**(33), 511-518.
- Instituto Nacional de Ecología (INE), 1997, *Programa de Manejo de la Zona de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos*. (D.F., México: INE).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Instituto Nacional de Ecología – Dirección de Ordenamiento Ecológico, 1999, Datos Vectoriales de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie I, Escala 1:250,000. Instituto Nacional de Ecología. Distrito Federal, México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática – Dirección General de Geografía – INEGI (ed.). 2001. Conjunto de Datos Vectoriales de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Escala 1:250,000, Serie II (CONTINUO NACIONAL). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Aguascalientes, Ags., México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática – Dirección General de Geografía – INEGI (ed.). 2005. Conjunto de Datos Vectoriales de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Escala 1:250,000, Serie III (CONTINUO NACIONAL). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Aguascalientes, Ags., México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2011a, México en cifras: Información Nacional, por Entidad Federativa y Municipios. Estado de Yucatán. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=31>. (Fecha de acceso: 22 de marzo de 2011).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2011b, Mapa de agricultura y vegetación del estado de Sinaloa. Disponible en: <http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/sin/agri.cfm?c=444&e=04>. (Fecha de acceso: 10 de julio de 2011).

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2011c, Sistema Estatal y Municipal de Bases de Datos. Disponible en: <http://sc.inegi.org.mx/sistemas/cobdem/contenido-arbol.jsp>. Fecha de consulta: 19 de mayo de 2011
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED), 2005, Enciclopedia de los Municipios de México. Municipio de Manzanillo, Colima. Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/Colima/>. (Fecha de acceso: 19 de Mayo de 2011).
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED), 2010a, Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Nayarit. Disponible en: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM18nayarit/index.html>. (Fecha de acceso: Agosto 2011).
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED), 2010b, Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Jalisco. Disponible en: http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_jalisco. (Fecha de acceso: 23 de mayo de 2011).
- Jenks, George F. 1967. "The Data Model Concept in Statistical Mapping", *International Yearbook of Cartography* 7: 186-190.
- Jiang, B., Liang, S., Wang, J. y Xiao, Z., 2010, Modeling MODIS LAI time series using three statistical methods. *Remote Sensing of Environment*, **114**, 1432–1444.
- Jiang, Z.; Huete, A.R., Didan, K. y Miura, T., 2008, Development of two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote sensing of environment*. **112**, 3833-3845.
- Jiménez, J. A., 1990, The structure and function of dry weather mangroves on the Pacific coast of Central America, with emphasis on *Avicennia bicolor* forest. *Estuaries*, **13**(2), 182-192.
- Jiménez, J. A., Lugo, A. E. y Cintron, G., 1985, Tree mortality in mangrove forests. *Biotropica*, **17**, 177-185.
- Jing-Eong, O., 1995, The ecology of mangrove conservation & management. *Hydrobiologia*, **295**, 343-351.
- Jordán, F., Báldi, A., Orci, K.M., Rácz, I. y Varga, Z., 2003, Characterizing the importance of habitat patches and corridors in maintaining the landscape connectivity of a *Pholidoptera transsylvanica* (Orthoptera) metapopulation. *Landscape Ecology*, (18), 83–92.
- Kathiresan, K. y Qasim, S. Z., 2005, *Biodiversity of mangrove ecosystems*. (India: Hindustan Publishing Corporation).
- Kennish, M.J., 2001, Coastal salt marsh systems in the U.S.: A review of anthropogenic impacts. *Journal of Coastal Research*, **17**(3), 731-748. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/4300224>. (Fecha de acceso: 17 de julio de 2011).
- Klemas, V. V., 2001, Remote sensing of landscape-level coastal environmental indicators. *Environmental Management*, **27**, 47-57.
- Knyazikhin, K., Glassy, J., Privette, J. L., Tian, Y., Lotsch, A., Zhang, Y., Wang, Y., Morisette, J. T., Votava, P., Myneni, R. B., Nemani, R. R. y Running, R. S., 1999, MODIS Leaf Area Index (LAI) and Fraction of Photosynthetically Active Radiation Absorbed by Vegetation (FPAR) Product (MOD15) Algorithm Theoretical Basis. Disponible en: https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_products_table. (Fecha de acceso: 22 de abril de 2011).
- Komiyama, A., Ong, J. E. y Pongpam, S., 2008, Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, **89**, 128-137.
- Kovacs, J. M., 2000, Perceptions of environmental change in a tropical coastal wetland. *Land Degradation & Development*, **11**, 209-220.
- Kovacs, J. M., Wang, J. y Blanco-Correa, M., 2001, Mapping disturbance in a mangrove forest using multi-date Landsat TM imagery. *Environmental Management*, **27**, 763-776.
- Kovacs, J. M., Flores, F., Wang, J. y Aspden, L. P., 2004, Estimating leaf area index of a degraded mangrove forest using high spatial resolution satellite imagery. *Aquatic Botany*, **80**, 13-22.
- Kovacs, J. M., Wang, J. y Flores, F., 2005, Mapping mangrove leaf area index at the species level using IKONOS and LAI-2000 sensors for the Agua Brava Lagoon, Mexican Pacific. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **62**, 377-384.
- Kovacs, J. M., Vandenberg, C. V. y Flores-Verdugo, F., 2006, Assessing fine beam RADARSAT-1 backscatter from a white mangrove (*Laguncularia racemosa* (Gaertner)) canopy. *Wetlands Ecology and Management*, **14**, 401–408.
- Kovacs, J. M., Vandenberg, C. V., Wang, J. y Flores-Verdugo, F., 2008, The use of multipolarized spaceborne SAR backscatter for monitoring the health of a degraded mangrove forest. *Journal of Coastal Research*, **24**, 248–254.

- Kuplich, T. M., Curran, P. J. y Atkinson, P. M., 2005, Relating SAR image texture to the biomass of regenerating tropical forests. *International Journal of Remote Sensing*, **26**(21), 4829-4854.
- Kurtis, M., Fahrig, L. y Merriam G., 1999, Independent effects of forest cover and fragmentation on the distribution of forest breeding birds. *Ecological Applications*, **9**(2), 586-593.
- Leyca geosystems, 2003, Erdas imagine Tour guides. United States of America.
- Long, B. G. y Skewes, T. D., 1996, A technique for mapping mangroves with Landsat TM satellite data and Geographic Information System. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **43**(3), 373-381.
- López-Medellín, X., Ezcurra, E., González-Abraham, C., Hak, J., Santiago, L. S. y Sickman, J. O., 2011. Oceanographic anomalies and sea-level rise drive mangroves inland in the Pacific coast of Mexico. *Journal of Vegetation Science*, **22**(1), 143-151. doi:10.1111/j.1654-1103.2010.01232.x. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1654-1103.2010.01232.x>. (Fecha de acceso: 17 de julio de 2011).
- López Portillo, J. y Ezcurra, E., 2002, Los manglares de México: una revisión. *Madera y Bosques*, Número especial, 27-51.
- López R., M., 2001, Degradación de suelos en Sonora: el problema de la erosión en los suelos de uso ganadero. *Región y Sociedad*, **XIII** (22), 73-97.
- Luckman, A., Baker, J., Kuplich, T. M., Yanasse, C. C. F. y Frery, A. C., 1997, A Study of the Backscatter and Biomass for Relationship Regenerating Spaceborne SAR between Radar Tropical Forest Instruments. *Remote Sensing Environment*, **60**, 1-13.
- Luckman, A., Baker, J. y Wegmüller, U., 2000, Repeat-Pass interferometric coherence measurements of disturbed tropical forest from JERS and ERS satellites. *Remote Sensing of Environment*, **73**(3), 350-360.
- MacArthur, R.H. y Wilson, E.O., 1967, *The theory of island biogeography* (Princeton, New Jersey: Princeton University Press).
- Macintosh, D. J. y Phillips, M. J., 1992, Environmental issues in shrimp farming. En: Proceedings of the 3ed Global Conference on the Shrimp Industry, 14-16 Septiembre, Hong Kong, H. de Saram y T. Singh (Eds.), pp. 118-145. (Malasia: INFOFISH, Kuala Lumpur).
- Mackey, A. P. y Smail, G., 1995, Spatial and temporal variation in litter fall of *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. in the Brisbane River, Queensland, Australia. *Aquatic Botany*, **52**, 133-142.
- Manson, F. J., Loneragan, N. R. y Phinn, S. R., 2003, Spatial and temporal variation in distribution of mangroves in Moreton Bay, subtropical Australia: a comparison of pattern metrics and change detection analyses based on aerial photographs. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **57**, 653-666.
- Márquez G., A. Z., Calva B., L. G. y Pérez R., A., 2006, Consideraciones batimétricas del sistema lagunar Carretas-Pereyra, Chiapas, México. *Hidrobiológica*, **16**(02), 121-126.
- Martínez, M. y Novelo, A., 1993, La vegetación acuática del estado de Tamaulipas, México. *Anales del Instituto de Biología*, UNAM, Serie Botánica, **64**(2), 59-86.
- Mas, J. F. y Zetina R., 2002, *Actualización del mapa de uso de suelo, vegetación y hábitats críticos y elaboración de una base de datos cartográfica digital del área protegida de Laguna de Términos*. (México: EPOMEX-UNAM-CONABIO)
- Mas, J. F., Díaz-Gallegos, J. R. y Pérez, A., 2003, Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: Una revisión. *Inv. Geog. Boletín*, **51**, 53-72.
- Mas, J. F., Velázquez, A., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, C., Bocco, G., Castro, R., Fernández, T. y Pérez-Vega, A., 2004, Assessing Land Use/Cover Changes: A nationwide multirate spatial data base for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **5**, 249-261.
- Massonnet, D. y Souyris, J. C., 2008, *Imaging with synthetic aperture radar*. (EUA: CRC Press).
- McGarigal, K., 2002, Landscape pattern metrics. En *Encyclopedia of Environmetrics Volume 2*, A. H. El-Shaarawi y W. W. Piegorsch (Eds.), pp. 1135-1142 (Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons). Disponible en: <http://www.umass.edu/landeco/pubs/mcgarigal.2002.pdf>. (Fecha de acceso: 30 de agosto de 2011).

- McGarigal, K. y Marks, B. J., 1994, FRAGSTATS: *Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Reporte Técnico PNW-GTR-351. (Portland, Oregon, Estados Unidos: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station).
- McGarigal, K., y Marks, B.J., 1995, *Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*, v. 3.3. (Corvallis, Oregon: Forest Science Lab, Oregon State University).
- McKee, K. L., 1996, Mangrove ecosystems: definitions, distribution, zonation, forest structure, trophic structure, and ecological significance. En: *Mangrove Ecology: A manual for a field course*, I. C. Feller y M. Sitnik (Eds.), pp. 1-6. (Washington: Instituto Smithsonian).
- Mendoza, R. E., 1997, Análisis de la deforestación de la selva Lacandona: Patrones, magnitud y consecuencias. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, México, D.F.
- Mathews F., J., 2008, *Evaluación de la modificación edafobiológica de los paisajes de la región Sierra-Costa de Michoacán, México*, Tesis de para obtener el grado de Maestría, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán.
- Merino, M., 1987, The coastal zone of Mexico. *Coastal Management*, **1**(15), 27-42.
- Moreno C., P., Rojas G., J. L., Zárate L., D., Ortiz P., M. A., Lara D., A. L. y Saavedra V., T., 2002, Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática. *Madera y Bosques*, Número especial, 61-88.
- Mougin, E., Proisy, C., Marty, G., Fromard, F., Puig, H., Betoulle, J. L. y Rudant, J. P., 1999, Multifrequency and multipolarization radar backscattering from mangrove forests. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **37**(1), 94-102.
- Mozaria-Luna, H. N. y Danemann, G. D., 2008, Humedales. En: *Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad. Línea base 2007*, G. D. Danemann y E. Ezcurra (Eds.), pp. 243-289 (México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Pronatura Noreste A.C. y San Diego Natural History Museum).
- Mueller-Dombois, D. y Ellenberg, H., 1974, *Aims and methods of vegetation ecology*. (EUA: John Wiley & Sons).
- Nettel, A., Dodd, R., Afzal-Rafii, Z. y Tovilla-Hernández, C., 2008, Genetic diversity enhanced by ancient introgression and secondary contact in east pacific black mangroves. *Molecular Ecology*, **17**, 2680-2690.
- Ortiz P., M. A. y Méndez L., A. P., 2000, Repercusiones por ascenso del nivel del mar en el litoral del Golfo de México. En: *México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*, C. García G. (Comp.), pp. 73-85 (México: Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies Program).
- Osborne, P. L., 2000, *Tropical ecosystems and ecological concepts*. (Cambridge: Cambridge University Press).
- Parker, C., Mitchell, A., Trivedi, M. y Mardas, N., 2009, *The Little REDD+ Book. An updated guide to governmental and non-governmental proposals for reducing emissions from deforestation and degradation*. (Oxford, Inglaterra: Global Canopy Foundation).
- Parks, P. J. y Bonifaz, M., 1994, Nonsustainable use of and mariculture in Ecuador. *Marine Resources Economics*, **9**, 1-18.
- Pascual-Hortal, L. y Saura, S., 2006, Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology*, (21), 959-967.
- Pinzón, Z. S., Ewel, K. C. y Putz, F. E., 2003, Gap formation and forest regeneration in a Micronesian mangrove forest. *Journal of Tropical Ecology*, **19**, 143-153.
- Ponce-Palafox, J. T., Ruiz-Luna, A., Castillo-Vargasmachuca, S., García-Ulloa, M. y Arredondo-Figueroa, J. L., 2011, Technical, economics and environmental analysis of semi-intensive shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farming in Sonora, Sinaloa and Nayarit states, at the east coast of the Gulf of California, México. *Ocean & Coastal Management*, **54**(7), 507-513. doi:10.1016/j.ocecoaman.2011.03.008. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0964569111000445>. (Fecha de acceso: 10 julio de 2011)
- Portilla O., E., Sánchez H., A. I., Juárez E., A., Cortina J., B. E. y Negrete G., C. Y., 2005, Fortalecimiento de capacidades locales para la conservación de los humedales de Alvarado, Veracruz, México. Primer Congreso Internacional de Casos Exitosos de Desarrollo sostenible del Trópico. Boca del Río, Veracruz, México. 2-4 de mayo.
- Primavera, J. H., 1989, The social, ecological, and economic implications of intensive shrimp farming. *Asian aquaculture*, **11**, 1-6.
- Primavera, J. H., 1995, Mangroves and brackishwater pond culture in the Philippines. *Hydrobiologia*, **295**, 303-309.

- Pronatura – Veracruz, 2007. *Evaluación del Estado de Conservación de los Ecosistemas Forestales de la Región denominada "Uxpanapa"*, Documento Inédito, 220 pp. (Veracruz, México: Dirección General de Desarrollo Forestal del Gobierno del Estado de Veracruz).
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 2004, *Índice de desarrollo humano municipal en México*. (México, D.F.: PNDU).
- Proisy, C., Mougin, E., Fromard, F. y Karam, M. A., 2000, Interpretation of polarimetric radar signatures of mangrove forests. *Remote Sensing of Environment*, **71**, 56–66.
- Proisy, C., Mougin, E., Fromard, F., Trichon, V. y Karam, M. A., 2002, On the influence of canopy structure on the radar backscattering of mangrove forests. *Int. J. Remote Sensing*, **20**(23), 4197-4210.
- Putz, F. E. y Chan, H. T., 1986, Tree growth, dynamics, and productivity in a mature mangrove forest in Malaysia. *Forest Ecology and Management*, **17**, 211-230.
- Puyravaud, J., 2003, Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, **177**, 593-596.
- Ramírez-García, P., López-Blanco, J. y Ocaña, D., 1998, Mangrove vegetation assessment in the Santiago River Mouth, Mexico by means of supervised classification using Landsat TM imagery. *Forest Ecology and Management*, **105**, 217-229.
- Ramsar, 2008a, Ficha informativa de los humedales de Ramsar (FIR). Corredor Costero La Asamblea-San Francisquito. Disponible en: <http://ramsar.conanp.gob.mx/documentos/fichas/59.pdf>. (Fecha de acceso: 7 de julio de 2009).
- Ramsar, 2008b, Ficha informativa de los humedales de Ramsar (FIR) Versión 2006-2008. Laguna Barra de Navidad (LBN). Disponible en: <http://ramsar.conanp.gob.mx/documentos/fichas/102.pdf>. (Fecha de acceso: 24 de mayo de 2011).
- Ramsar, 2005a, Marco integrado para el inventario, la evaluación y el monitoreo de humedales. 9ª reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes de la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Iran, 1971). Los humedales y el agua: ¡mantienene la vida, nos dan el sustento! Kampala, Uganda, 8 a 15 de noviembre de 2005. Disponible en: http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-an-integrated-framework/main/ramsar/1%5E20764_4000_2__. (Fecha de acceso: 30 de octubre de 2011).
- Ramsar, 2005b, Ficha informativa de los humedales de Ramsar (FIR). Laguna Costera El Caimán. Disponible en: <http://ramsar.conanp.gob.mx/documentos/fichas/27.pdf>. (Fecha de acceso: 17 de noviembre de 2009).
- Ramsey III, E. W. y Jensen, J. R., 1996, Remote sensing of mangrove wetlands: relating canopy spectra to site-specific data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **62**(8), 939-948.
- Ramsey III, E. W., Nelson, G. A. y Sapkota, S. K., 2001, Coastal Change Analysis Program implemented in Louisiana. *Journal of Coastal Research*, **17**(1), 53-71.
- Rasolofoharinoro, M., Blasco, F., Bellan, M. F., Aizpuru, M., Gauquelin, T. y Denis, J., 1998, A remote sensing based methodology for mangrove studies in Madagascar. *International Journal of Remote Sensing*, **19**(10), 1873-1886.
- Ravindranath, N. H. y Ostwald, M., 2008, *Carbon Inventory Methods. Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects*. Serie Advances in Global Change Research, Número 29. (Netherlands: Springer).
- Rempel, R. S., Carr, A.P. y Kaukinen, D., 2008, *Patch Analyst extension for ArcMap: version 4.2*. (Canada: Ontario Ministry of Natural Resources). Disponible en: <http://flash.lakeheadu.ca/~rrempe/patch> (Fecha de acceso: 29 de agosto de 2011).
- Reyes C., M.A. y Tovilla H., C., 2002, Restauración de áreas alteradas de manglar con *Rhizophora mangle* en la Costa de Chiapas. *Madera y Bosques*, Número especial **8**(1), 103-114.
- Reyes-Gómez, H. G., 2009, Criterios para la selección del sitio de manglar Pom – Atasta. En: *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (México, D.F.: CONABIO).
- Reyes-Gómez, H. G. y A. D. Vázquez-Lule, (2009), Caracterización del sitio de manglar Pom – Atasta. En: *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (México, D.F.: CONABIO).
- Rico-Gray, P., 1981, Presencia del manglar rojo *Rhizophora harrisonii* en las costas de Chiapas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, **21**, 163-164.

- Rodríguez-Zúñiga, T., 2002, Manglares del sistema lagunar de Alvarado, Ver. México: Influencia de algunos procesos físicos, biológicos y antropogénicos, en su distribución y estructura. Tesis para obtener el grado de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, México, D.F.
- Rodriguez-Zúñiga, M.T., Ramírez-García P. y Gutiérrez-Granados G., 2011. Efectos de la extracción no controlada de madera sobre la comunidad y estructura de tamaños de los manglares de Alvarado, Veracruz, México. *Bol.Soc. Bot. Méx.* **89**, 107-113.
- Rollet, B., 1974, Introduction a l'Etude des Mangroves du Mexique. Part 2. *Rev. Bois Forest Tropiques*, **157**, 53-74.
- Rollet, B., 1986, Ordenación integrada de los manglares. Síntesis de siete seminarios nacionales en América Latina. FAO. FO: Misc/86/4/.
- Roman, C. T., Jaworski, N., Short, F. T., Findlay, S. y Warrens, R. S., 2000, Estuaries of the Northeastern United States: habitat and land use signatures. *Estuaries*, **23**, 6, 743-764.
- Rosengaus, M. y Hernández-Unzon, B., 2005, Resumen de la temporada de ciclones tropicales 2005. Consultado en: www.conagua.gob.mx. (Fecha de acceso: 8 de agosto de 2011).
- Rosenqvist, A., Milne, A., Lucas, R., Imhoff, M. y Dobson, C., 2003, A review of remote sensing technology in support of the Kyoto Protocol. *Environmental Science & Policy*, **6**, 441-455.
- Roy, D. P., Borak, J. S., Devadiga, S., Wolfe, R. E., Zheng, M. y Descloitres, J., 2002, The MODIS Land product quality assessment approach. *Remote Sensing of Environment*, **83**, 62-76.
- Ruiz-Luna, A. y Berlanga-Robles, C. A., 1999, Modifications in cover patterns and land use around the Huizache-Caimanero lagoon System, Sinaloa, Mexico: a multitemporal analysis using LANDSAT images. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **49**, 37-44.
- Ruiz-Luna, A., Acosta-Velázquez, J. y Berlanga-Robles, C. A., 2008, On the reliability of the data of the extent of mangroves; a case study in Mexico. *Ocean and Coastal Management*, **51**, 342-351.
- Ruiz-Luna, A., Cervantes E., A. y Berlanga-Robles, C., 2010, Assessing Distribution Patterns, Extent, and Current Condition of Northwest Mexico Mangroves. *Wetlands*, **30**(4), 717-723. doi:10.1007/s13157-010-0082-2. Disponible en: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s13157-010-0082-2>. (Fecha de acceso: 13 de junio de 2011).
- Saenger, P., Hergerl, E. J., y Davie, J. D., 1983, *Global Status of mangroves ecosystems by the Working Group on Mangrove Ecosystem of the IUCN Commission on Ecology in cooperation with the United Nations Environment Programme and the World Wildlife Fund*. Commission on Ecology Papers No. 3. (Gland, Switzerland: IUCN).
- Salas-Morales, S. H., Saynes-Vásquez, A. y Schibli, L., 2003, Flora de la costa de Oaxaca, México: Lista florística de la región de Zimatán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (72), 21-58.
- Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez R. y and Zambrano, L., 2007, *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. (México DF: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales).
- Santoro, M., Shvidenko, A., McCallum, I., Askne, J. y Schmulilius, C., 2007, Properties of ERS-1/2 coherence in the Siberian boreal forest and implications for stem volume retrieval. *Remote Sensing of Environment*, **106**, 151-172.
- Saura, S., Estreguil, C., Mouton, C. y Rodríguez-Freire, M., 2011, Network analysis to assess landscape connectivity trends: Application to European forests (1990-2000). *Ecological Indicators*, **11**(2), 407-416.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), 2004, Acuerdo mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Pesquera y su anexo. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de marzo de 2004.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), 1999, Ordenamiento Ecológico de la Región Costa de Jalisco. (México: SEMARNAP).
- Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA), 2003, *Ordenamiento Ecológico Regional de la Zona Industrial y Portuaria de Lázaro Cárdenas, Michoacán de Ocampo: Estudio Técnico Justificativo, Municipio de Lázaro Cárdenas*. (Michoacán, México: SUMA).
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN), 2010, Información Histórica de Ciclones. Consultado en: <http://smn.cna.gob.mx/>. (Fecha de acceso: 20 de abril de 2011).

- Schaeffer-Novelli, Y. y Cintron, G., 1986, *Guía para estudio de Áreas de Manguezal: Estructura, Função e Flora*. (Sao Paulo, Brazil: Caribbean Ecological Research).
- Sheil, D. y Burslem, D. F. R. P., 2003, Disturbing hypotheses in tropical forests. *TRENDS in Ecology and Evolution*, **1**(18), 18-26.
- Silva-Bátiz F.A., Hernández-Vázquez A.J., Nené-Preciado, A. J. y Vázquez-Lule, A.D. 2009. Caracterización del sitio de manglar Laguna de Cuyutlán, En: *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (México, D.F.: CONABIO).
- Simard, M., Zhang, K., Rivera-Monroy, V. H., Ross, M. S., Ruiz, P. L., Castañeda-Moya, E., Twilley, R. R. y Rodriguez, E., 2006, Mapping height and biomass of mangrove forests in everglades national park with SRTM elevation data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **3**(72), 299-311.
- Simard, M., Rivera-Monroy, V. H., Mancera-Pineda, J. E., Castañeda-Moya, E. y Twilley, R. R., 2008, A systematic method for 3D mapping of mangrove forests based on Shuttle Radar Topography Mission elevation data, ICESat/GLAS waveforms and field data: Application to Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Remote Sensing of Environment*, **112**, 2131–2144.
- Snedaker, S. C. y Snedaker, J. G., 1984, *The mangrove ecosystem: research methods*. (Bungay, Reino Unido: UNESCO).
- Solano, R., Didan, K., Jacobson, A. y Huete, A., 2010, MODIS VegetationIndices (MOD13) C5 User's Guide. Disponible en: <http://tbrs.arizona.edu/project/MODIS/MOD13.C5-UsersGuide-HTML-v1.00/index.html>. (Fecha de acceso: 24 de junio de 2010).
- Southworth, J., Nagendra, H., Carlson, L. A. y Tucker, C., 2004, Assessing the impact of Celaque National Park on forest fragmentation in western Honduras. *Applied Geography*, **24**(4), 303-322.
- Spalding, M., Kainuma, M. y Collins, L. 2010, *World Atlas of mangroves*. Earthscan (UK and USA).
- Syed, Md. A., Hussin, Y. A. y Weir, M., 2001, Detecting fragmented mangroves in the Sundarbans, Bangladesh using optical and radar satellite images. 22nd Conference of Remote Sensing. Singapore, 2-9 noviembre 2001. Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing (CRISP), National University of Singapore, Singapore Institute of Surveyors and Valuers (SISV), Asian Association on Remote Sensing (AARS).
- Tansey, K. J., Luckman, A. J., Skinner, L., Balzter, H., Strozzi, T. y Wagner, W., 2004, Classification of forest volume resources using ERS tandem coherence and JERS backscatter data. *International Journal of Remote Sensing*, **25**(4), 751-768.
- The David & Lucile Packard Foundation, ALCOSTA y Fondo para la Conservación del Golfo de California, 2006, Red de monitoreo de los desarrollos turísticos del noroeste costero, Informe final FCGC E5-05-006 Packard 2004-27247.
- The Nature Conservancy (TNC), 2008, Laguna Madre y Delta del Río Bravo y su zona de influencia (ID:1026). Disponible en: <http://conpro.tnc.org/1026/> (Fecha de acceso: 29 de diciembre de 2010).
- Tomlinson, P. B., 1986, *The Botany of Mangroves*. *Cambridge Tropical Biology Series*. (Cambridge: Cambridge University Press).
- Tovilla H., C., Román S., A. V., Simuta M., Guadalupe M., Linares M., R. M., 2004, Recuperación del manglar en la Barra del Río Cahoacán, en la costa de Chiapas. *Maderas y Bosques*, Número especial **10**(2), 77-91.
- Tovilla-Hernández, C., Mora-Corro S. A., Rojas-García, J. y Vázquez-Lule, A. D., 2009, Caracterización del sitio de manglar Coyuca – Mitla, En: *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (México, D.F.: CONABIO). Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/caracterizacion/PS22_Coyuca_Mitla_caracterizacion.pdf. (Fecha de acceso: 13 de junio de 2011).
- University of Lleida, 2007, *CONEFOR SENSINODE 2.2 User's manual. Software for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity through graphs and habitat availability indices*. 57 pp. (España: University of Lleida). Disponible en: <http://www.conefor.org/usermanual.html>. (Fecha de acceso: 30 de agosto de 2011).
- Valdez H., J.I., 2004, Manejo forestal de un manglar al sur de Marismas Nacionales, Nayarit. *Maderas y Bosques*, (Número especial, 2), pp.93-104.
- Valdez-Hernández, J. I., Ruiz-Luna, A., Guzmán-Arroyo, M., González-Farías, F., Acosta-Velázquez, J. y Vázquez-Lule, A.D., 2009, Caracterización del sitio de manglar Teacapán–Agua Brava – Marismas Nacionales, Sinaloa – Nayarit. En: *Sitios de manglar con*

relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (México, D.F.: CONABIO).

- Valiela, I., Bowen, J. L. y York, J. K., 2001, Mangrove forests: one of the World's threatened major tropical environments. *BioScience*, **51**(10), 807-815.
- Vázquez L., A. D., 2008, *Estructura vegetal e impacto antrópico en los manglares del Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México*. Tesis para obtener el título de Biólogo, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Autónoma de México, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México.
- Villafuerte S., D. y García A., M. del C., 2006. Crisis rural y migración en Chiapas. *Migración y Desarrollo*, (006), 102-130.
- Wagner, W., Luckman, A., Vietmeier, J., Tansey, K., Balzter, H., Schmullius, C., Davidson, M., Gaveau, D., Gluck, M., Le Toan, T., Quegan, S., Shvidenko, A., Wiesmann, A. y Yu, J. J., 2003, Large-scale mapping of boreal forest in SIBERIA using ERS tandem coherence and JERS backscatter data. *Remote Sensing of Environment*, **85**(2):125-144.
- Walters, B. B., 2005, Ecological effects of small-scale cutting of Philippine mangrove forests. *Forest Ecology and Management*, **206**, 331-348.
- Wang, Y., Hess, L. L., Filoso, S., Melack, M. M., 1995, Understanding the Radar Backscattering from Flooded and Nonflooded Amazonian Forests: Results from Canopy Backscatter Modeling. *Remote Sensing Environment*, **54**, 324-332.
- Wang, Y. y Imhoff, M. L., 1993, Simulated and observed L-HH radar backscatter from tropical mangrove forests. *International Journal of Remote Sensing*, **14**, 2819-2828.
- Whitmore, R. C., Brusca, R. C., León de la Luz, J. L., González-Zamorano, P., Mendoza-Salgado, R., Amador-Silva, E. S., Holguín, G., Galvan-Magaña, F., Hastings, P. A., Cartron, J. E., Felger, R. S., Semínoff, J. A. y McIvor, C. C., 2005, The Ecological Importance of Mangroves in Baja California Sur; Conservation Implications for an Endangered Ecosystem. En: *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico*, J. E. Cartron, G. Ceballos y R. S. Felger (Eds.), pp. 298-333 (EE.UU.: Oxford University Press).
- Zavala, C., J. y Castillo, A., O., 2003, Uso del suelo y manejo en los cordones litorales de la reserva de la biosfera pantanos de Centla, Tabasco. *Universidad y ciencia*. **19**(37), 17-33.
- Zhao, B., Yan, Y., Guo, H., He, M., Gu, Y. y Li, B., 2009, Monitoring rapid vegetation succession in estuarine wetland using time series MODIS-based indicators: An application in the Yangtze River Delta area. *Ecological Indicators*, **9**, 346-356.