

**Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo, A. C.**

**"Evaluación de la condición de los sistemas de manglar del
noroeste de México a través de análisis espectrales y de
indicadores de paisaje"**

AIMEE CERVANTES ESCOBAR

TESIS APROBADA POR LA
UNIDAD DE MAZATLÁN
EN ACUICULTURA Y MANEJO AMBIENTAL

PRIMERO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS

APROBACIÓN

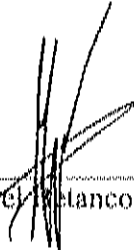
Los miembros del comité designado para revisar la tesis de Aimée Cervantes Escobar, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias, con especialidad en manejo Ambiental.



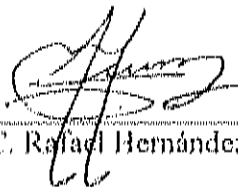
Dr. Arturo Ruiz Luna
Director de tesis



Dr. César A. Berlanga Robles



Dr. Miguel Estancourt Lozano



M. en C. Rafael Hernández Guzmán

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

Se permiten citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se de el crédito correspondiente. Para la reproducción total o parcial de esta tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD).

La publicación en comunidades científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa aprobación escrita del director de tesis.

Dr. Ramón Pacheco Aguilar
Director General del CIAD, A. C.

DEDICATORIA

A Nice Elina

Salvador †

Elina †

Jaime Rendón

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Arturo Ruiz Luna por la dirección del presente trabajo, por su apoyo y paciencia durante mi estancia en esta institución.

A los miembros de mi comité de tesis: Dr. César A. Berlanga Robles, Dr. Miguel Betancourt Lozano, M en C. Rafael Hernández Guzmán, por las aportaciones realizadas al presente estudio.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la ayuda económica brindada para la elaboración de mi tesis y para mi estancia de maestría.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Unidad Mazatlán, por acogerme estos dos años.

A todos mis profesores del CIAD- MZT, por las clases impartidas, las cuales contribuyeron a mi formación académica.

Al Dr. Miguel Betancourt Lozano, por sus aportaciones y sus ideas, las cuales ayudaron a enriquecer mi trabajo.

Al Dr. Cesar A. Berlanga Robles por sus sugerencias, y por compartir sus conocimientos sobre Ecología del Paisaje.

Al M en C. Rafael Hernández Guzmán por su ayuda técnica, y por sus sugerencias en el presente trabajo.

Agradezco a todas las personas que formaron parte de esta etapa de mi vida. Gracias en especial a Nice Elina Escobar Reynaud por dejarme volar en busca de mis sueños. Gracias a toda mi familia por su apoyo, y cariño. Gracias a Jaime Renán Ramírez Zavala, por el amor, por su apoyo, por compartir conmigo esta etapa.

Agradezco a mis compañeros del laboratorio de Manejo ambiental, a los presentes: Mudo, Rafa, Alma, y a los ausentes, Totoy, Karina, Pablo, José. También a Luz Adriana, a Bety, al pollo; a mis compañeros de grupo: Catherine, Karina, Perla, Ricardo, Sofía, a todos ellos por ponerle sabor a mi estancia en el CIAD.

Gracias a los atardeceres en el Pacífico, al mar, a los manglares, a la naturaleza y a la ciencia,

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	I
ÍNDICE DE TABLAS.....	II
RESUMEN	IV
ABSTRACT.....	VI
INTRODUCCIÓN	I
ANTECEDENTES.....	6
MANGLARES	6
APLICACIONES DE PERCEPCIÓN REMOTA EN ESTUDIOS DE MANGLAR.....	8
EXTENSIÓN DE MANGLAR.....	8
FACTORES DE DETERIORO DE LOS BOSQUES DE MANGLAR	9
INDICADORES DE CONDICIÓN DE LA VEGETACIÓN.....	11
ECOLOGÍA DEL PAISAJE	12
OBJETIVO GENERAL	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
MÉTODOS	15
ÁREA DE ESTUDIO.....	15
PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	17
ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN VEGETAL.....	18
ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN	21
VALORACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE LOS SISTEMAS DE MANGLAR.....	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
DISTRIBUCIÓN DE MANGLAR Y DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE NDVI	25
<i>Baja California Sur</i>	25
<i>Sonora</i>	27
<i>Sinaloa</i>	30
<i>Nayarit</i>	33
<i>Diagnóstico noroeste</i>	35
ESTIMACIÓN DE LA EXTENSIÓN DE MANGLAR.....	39
<i>Baja California Sur</i>	40
<i>Sonora</i>	42
<i>Sinaloa</i>	43
<i>Nayarit</i>	44
DISTRIBUCIÓN Y EXTENSIÓN POR TIPOS DE MANGLAR	47
<i>Baja California</i>	51
<i>Sonora</i>	52
<i>Sinaloa</i>	55
<i>Nayarit</i>	55
ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN	58
<i>Baja California Sur</i>	59
<i>Sonora</i>	60
<i>Sinaloa</i>	62

<i>Nayarit</i>	63
VALORACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE LOS SISTEMAS DE MANGLAR	66
<i>Baja California Sur</i>	67
<i>Sonora</i>	68
<i>Sinaloa</i>	68
<i>Nayarit</i>	69
CONCLUSIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Noroeste de México y golfo de California. El área de estudio incluye la zona litoral de todos los estados excepto Baja California (BC).	16
Figura 2.- Distribución de manglar (polígonos negros) en Baja California Sur.....	26
Figura 3.- Distribución de manglar (polígonos negros) en Sonora.	28
Figura 4.- Distribución de manglar (polígonos negros) en Sinaloa.....	31
Figura 5.- Distribución de manglar (polígonos negros) en Nayarit.....	34
Figura 6.- Proporción (%) de Tipos de manglar en los estados del Noroeste México en 1973, con el Tipo 1 como manglares de menor condición vegetal y el Tipo 4 como manglares de la mejor condición vegetal.	49
Figura 7.- Proporción (%) de Tipos de manglar en los estados del Noroeste México en 2005, con el Tipo 1 como manglares de menor condición vegetal y el Tipo 4 como manglares de la mejor condición vegetal.	50
Figura 8.- Tipos fisonómicos de manglar en sistemas lagunares de Baja California Sur, 1973	51
Figura 9.- Tipos fisonómicos de manglar en sistemas lagunares de Baja California Sur, 2005.....	52
Figura 10.- Tipos fisonómicos de manglar en Sonora, 1973. (A) Sargento-Bahía kino, (B) De Guásimas a Estero Lobos, (C) Tobari, (D) Hutabampito, (E) Yavaros, (F) Agiabampo.....	52
Figura 11.- Tipos Fisonómicos de manglar en Sonora, 2005.....	53
Figura 12.- Ecosistema de manglar en Yavaros, Sonora.....	54
Figura 13.- Tipos fisonómicos de manglar en el Estado de Sinaloa, 1973.....	54
Figura 14.- Tipos fisonómicos de manglar en el Estado de Sinaloa, 2005.....	55
Figura 15.- Tipos Fisonómicos de manglar en el Estado de Nayarit, 1973.....	56
Figura 16.- Tipos fisonómicos de manglar en el Estado de Nayarit, 2005.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Valores promedio, desviación estándar (d.e.) y valor máximo del NDVI para los sistemas de manglar de Baja California Sur (1973).....	27
Tabla 2.- Valores promedio, desviación estándar (d.e.) y valor máximo del NDVI para los sistemas de manglar de Baja California Sur (2005).....	27
Tabla 3.- Valores promedio, desviación estándar (d.e.) y valor máximo del NDVI para los sistemas de manglar de Sonora (1973).....	29
Tabla 4.- Valores promedio, desviación estándar (d.e.) y valor máximo del NDVI para los sistemas de manglar de Sonora (2005).....	30
Tabla 5.- Valores promedio, desviación estándar (d.e.) y valor máximo del NDVI para los sistemas de manglar de Sinaloa (1973).....	32
Tabla 6.- Valores promedio, desviación estándar (d.e.) y valor máximo del NDVI para los sistemas de manglar de Sinaloa (2005).....	33
Tabla 7.- Valores promedio, desviación estándar (d.e.) y valor máximo del NDVI para los sistemas de manglar de Nayarit (1973).....	35
Tabla 8.- Valores promedio, desviación estándar (d.e.) y valor máximo del NDVI para los sistemas de manglar de Nayarit (2005).....	35
Tabla 9.- Superficie de manglar estimada para los estados del noroeste de México en 1973. Cifras redondeadas a la centena más próximas.....	39
Tabla 10.- Superficie de manglar estimada para los estados del noroeste de México en 2005. Cifras redondeadas a la centena más próxima.....	39
Tabla 11.- Superficie de manglar (ha) por sistema lagunar para el estado de BCS, 1973. Cifras redondeadas a la decena más próxima.....	40
Tabla 12.- Superficie de manglar (ha) por sistema lagunar para el estado de Baja California Sur, 2005. Cifras redondeadas a la decena más próxima.....	41
Tabla 13.- Superficie de manglar (ha) por sistema lagunar para el estado de Sonora, 1973.....	42
Tabla 14.- Superficie de manglar (ha) por sistema lagunar para el estado de Sonora, 2005.....	43
Tabla 15.- Superficie de manglar (ha) por sistema lagunar para el estado de Sinaloa, 1973.....	44

Tabla 16.- Superficie de manglar (ha) por sistema lagunar para el estado de Sinaloa, 2005.	44
Tabla 17.- Superficie de manglar (ha) por sistema lagunar para el estado de Nayarit, 1973	45
Tabla 18.- Superficie de manglar (ha) por sistema lagunar para el estado de Nayarit, 2005. Se incluye la superficie de manglar muerto detectado para todo el estado	45
Tabla 19.- Variación de la superficie de manglar estimada para los estados del noroeste de México en 1973 y 2005	46
Tabla 20.- Definición de los Tipos de manglar en función de sus valores mínimo y máximo del Índice de vegetación de diferencias normalizadas y las características biológicas asociadas (condición)	48
Tabla 21.- Superficie (ha) y proporción (%) de Tipos de manglar en los estados del noroeste de México en 1973	48
Tabla 22.- Superficie (ha) y proporción (%) de Tipos de manglar en los estados del noroeste de México en 1973.	50
Tabla 23.- Métricas de paisaje estimadas para Baja California Sur	59
Tabla 24.- Métricas estimadas para Sonora	61
Tabla 25.- Métricas de paisaje estimadas para Sinaloa	63
Tabla 26.- Métricas de paisaje estimadas para Nayarit.....	64
Tabla 27.- Sistema de puntaje Sistema de puntaje, muestra los sistemas lagunares con scores que representan menor y mayor degradación	68

RESUMEN

A pesar de la importancia de los sistemas de manglar, en México existen discrepancias sobre su extensión y es escasa la información sobre variables de calidad vegetal de esta cobertura. Por lo anterior, en el presente estudio se determinó la distribución y extensión del manglar en el noroeste de México, evaluando indicadores que permiten conocer tanto el aspecto cuantitativo en cuanto a su distribución como algunos aspectos cualitativos que son de utilidad para conocer sus niveles de conservación. Se analizaron imágenes Landsat MSS de 1973 y TM del 2005 para comparar los cambios en cuanto a superficie, también se analizó el índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI) para conocer la condición vegetal del manglar, clasificando en 4 tipos de manglar de acuerdo a la distribución estadística de los valores de este índice, donde el tipo 1 (cuartil 1) corresponde al manglar de menor follaje y menor concentración de clorofila, y el tipo 4 (cuartil 4) al de mayor concentración de clorofila y abundante follaje. Los tipos 2 y 3 representan valores intermedios. Se analizó el grado de fragmentación de la cobertura de manglar utilizando métricas del paisaje como el índice de área, índice de forma, índices de contagio y agregación y el índice de aislamiento. Se utilizó un sistema de puntaje para valorar la calidad ambiental de los ecosistemas de manglar, a partir de los resultados obtenidos del análisis de indicadores utilizados en este estudio (NDVI y métricas del paisaje).

En general los resultados muestran un ligero incremento de superficie, pasando de 174,000 u 178,000 ha para todo el noroeste, con la diferencia a la distribución de la cobertura con el uso de imágenes MSS, de menor resolución espacial. El estado con mayor cobertura del manglar en 1973 fue Nayarit, mientras que en 2005 fue Sinaloa y en segundo término Nayarit, con un escaso incremento de superficie (1,400 ha). En el estado de Sonora el estado con mayor extensión, a nivel estatal el resultado fue similar al obtenido en Nayarit, donde se encontró la mayor proporción de superficie (aproximadamente 9,000 ha). En promedio los valores más altos del NDVI en 1973 se localizaron al norte del estado de Sinaloa, en la bahía de Aguilera y en el estado de Sonora (media NDVI 0.44, desviación 0.12). En 2005 se encontraron los valores más altos de NDVI localizados de igual manera en el estado de Sinaloa (media NDVI 0.44, desviación 0.13). En cuanto a los tipos de manglar en 1973, el 54% (93,800 ha) del manglar en el noroeste se encontraba entre el manglar tipo 1 y 2, siendo los estados de Baja California Sur y Sonora los que presentaron la mayor proporción, el 12% correspondió al manglar tipo 3 y solo el 4% al tipo 4. En el 2005 se mantuvo estable la distribución y proporción de tipos dominantes, aunque hubo una ligera reducción en la proporción aportada por los tipos 1 y 2 (52%). Sin embargo la fragmentación de la cobertura por la existencia de lagunas indica en general un incremento en la condición vegetal en el año 2005. Del análisis de métricas del paisaje se observó un aumento en el número de parches, el índice de agregación y el índice de aislamiento en la superficie total, siendo mayor el efecto en algunas zonas como Sinaloa y Nayarit, particularmente. Los valores reflejan la forma y la distancia entre parches, no tanto en los tipos de manglar; entre las

dos fechas analizadas, Se observó una tendencia general a disminuir los valores de la distancia en el período, en 2005 y se observaron valores de degradación de los ecosistemas en conjunto podría indicar que existió una tendencia a la fragmentación de la cobertura de manglar y que posiblemente se trate de un proceso inicial. El método de jerarquía indicó el sistema de puntuación muestra que los sistemas de mejor condición o menor grado de deterioro son Bahía Yavapai y los que se distribuyen de Ciudad Juárez a Escudo de Lobos en el Estado de Coahuila, Jilohuac y Allahu Ensenada del Pabellón en Sinaloa, Los sistemas lagunales que requieren mayor atención corresponden a Escudo Tobarí, San Felipe Kino, Bahía Agiabampo en las localidades de Sonora y Sinaloa, Ohuira y Topolobampo en el Estado de Sinaloa y por último el Estado de Nayarit, por lo tanto estos sistemas requieren que se realicen en cuenta en las propuestas de manejo,

Palabras clave: Manglar, Pérdida de Cobertura, Fragmentación, NDVI,

ABSTRACT

Despite the relevance of mangrove, in Mexico there are discrepancies in their extension and distribution of vegetation quality of Ibis coverage. For the first time, a study was conducted to determine the extension and distribution of mangrove in northwest of Mexico, allowing to evaluate their extension and distribution, as well as some qualitative aspects that we do not know, using Landsat images MSS 1973 and TM 2005 were used to determine the cover extent in both dates, and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was evaluated to determine the vegetation condition. The mangrove cover was classified in 4 types according to the statistical distribution of NDVI values; the Type 1 (<math>NDVI < 0.4</math>) corresponds to mangrove with high biomass and chlorophyll concentration, while the Type 4 (range 4) corresponds to the mangrove with low biomass and chlorophyll concentration and more dense foliage. The Types 2 and 3 correspond to savanna. The fragmentation of the mangrove coverage was analyzed using landscape metrics such as area index, shape index, contagion and aggregation indices and the isolation index. A score system was used to assess the environmental quality of the mangrove ecosystems, using the results obtained of the indicators evaluated in this study (NDVI and landscape metrics). In general, results show an increase of mangrove surface, from 174,000 to 178,000 ha in total, while the difference is due to underutilization or loss cover with the use of imagery MSS. Nayarit state had the biggest mangrove area in 1973, which in 2005 it was Sinaloa and in second place Nayarit, with a total margin of difference (1,400 ha). In both states Sonora was the least with small extension. In a state level the results were similar except to Nayarit, in this state there was found the largest loss surface (1,000 ha approximately). The highest NDVI values in 1973 were located in the north of the state of Sinaloa in Agiabampo. Topolobampo system (north of Ojicillo, s.d. 0.12). During 2005 the highest values of the NDVI were also located in Sinaloa (mean 0.44, s.d. 0.13). Regarding the mangrove types, in 1973, 54% (93,800 ha) of the mangrove in northwest of Mexico belonged to the Type 1 and 2, contributing 50% and 4% respectively to the mangrove, Type 3 and 4 were 4% and 42% respectively. In 2005 the results remained stable in distribution and proportion of dominant types, however, the increase in mangrove cover was indicated by the increase in the mangrove condition in 2005. Finally the fragmentation analysis, an increase was observed in the fragmentation indices, despite changes in mangrove total area and this effect was more evident in some states of Sinaloa and Nayarit states. The shape and distance indices did not show significant difference between both dates. A general negative trend for the fragmentation indices was observed in 2005 and high values of aggregation index were observed, which could indicate a fragmentation in the mangrove cover, probably in its initial phase. From the score system, the best condition or less;

degraded systems were those located between (Las Alamos and Florida) Lobos, as well as Bahía Yavaros, in Sonora state. To the south, Bahía ()ula and Encarnación Allende del Estero in Sinaloa were the systems with better conditions. By contrast, Bahía Aginbampí and Estero Tobarí systems in Sonora, and Ohuín, and Topolobampo in Nayarit Sinaloa, together with Naymitl mangrove systems, are the most perturbed systems, requiring special attention for management purposes.

Key words: Mangroves, Remote sensing, Fragmentation, NDVI.

INTRODUCCIÓN

La zona costera ha jugado un papel muy importante en el desarrollo de las comunidades humanas al propiciar actividades como la pesca y la acuicultura, siendo además la región del mundo con mayor proporción de población ya que en o cerca de ellas se encuentra ubicado aproximadamente el 60% de la población humana (Green *et al.*, 1996). Por lo anterior, se considera que las zonas costeras son espacios sujetos a una fuerte presión ambiental, sobre todo en localidades cercanas a ciudades o actividades productivas en desarrollo.

En la zona costera, las lagunas, estuarios y en particular los manglares son ecosistemas de alta productividad. El bosque de manglar es un tipo de vegetación que crece en la zona intermareal de regiones tropicales y subtropicales y que representan sistemas de gran diversidad e importancia ecológica. Estos ecosistemas son zonas de protección, crianza y alimentación para diversas especies de aves, invertebrados y otros organismos. También brindan protección contra huracanes, al actuar como barrera, funcionan como purificadores del agua, particularmente capturando materia orgánica y otros contaminantes (Manassrisuksi *et al.*, 2001). Blasco *et al.*, (1996) sugieren una relación entre estos ecosistemas y la erosión costera, mencionando que la muerte de los manglares puede provocar un aumento en la erosión costera.

A pesar de la importancia de los ecosistemas de manglar, existen diversos factores ambientales y de naturaleza antropogénica que han causado una disminución en su cobertura, en magnitudes y proporciones diferentes dependiendo de cada sitio en particular. En México, la principal causa de pérdida de manglar se atribuye a la construcción de infraestructura turística, asentamientos humanos, actividad petrolera y a la acuicultura (Fregoso y Cotler, 2005).

En la actualidad se considera que los manglares son uno de los ambientes más amenazados en el mundo, ya que se estima que por lo menos el 35% del área de manglar en el mundo se ha perdido en las últimas dos décadas, en niveles que exceden a las de

bosques tropicales y arrecifes de coral Valiela *et al.*, (2001). En los 80s la FAO estimó pérdidas por un total de 15.6 millones de hectáreas de manglar en el mundo, sin embargo las estimaciones más recientes van de 12 a 20 millones de hectáreas (Loyche-Wilkie y Fortuna, 2003). A nivel mundial se ha reportado que la mayor causa de la degradación del ecosistema de manglar es debido a la actividad acuícola y a la agricultura (Valiela *et al.*, op. cit). Cabe mencionar que en el noroeste de México la agricultura en la llanura costera es una de las actividades económicas con mayor tradición, en tanto que desde la década de 80s se ha dado un gran auge a la acuicultura, particularmente de camarón (Ruíz-Luna y Berlanga-Robles, 2001) y aunque no se ha detectado un cambio importante en la extensión de la cobertura de manglar en esta región, existe la posibilidad de que la presión ejercida sobre estos ecosistemas se refleje en un deterioro de su calidad como ecosistema.

En México se han generado diversas estimaciones de las tasas de cambio de la superficie de manglar, de acuerdo a información recopilada en diferentes años de estudio, se ha estimado una pérdida promedio anual de 1.1% para todo el país. (Fregoso y Cotler, 2005). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la presión ejercida sobre estos ecosistemas no es homogénea y depende de la localidad. Cabe mencionar que una de las consecuencias más desafiantes de la destrucción del hábitat es la extinción de especies de fauna y flora y la consiguiente pérdida de biodiversidad (Bascompte y Solé, 1996). Es por eso que los ecosistemas de manglar son objeto de diversos estudios para su preservación.

A pesar de lo anterior, existe un alto grado de incertidumbre en cuanto a la extensión real de la superficie de manglar y a los impactos que se han generado sobre estos ecosistemas debido a la falta métodos estandarizados para su análisis, aunado a que la mayoría de los estudios tienen como objetivo obtener la extensión del manglar se han realizado en general, en zonas específicas con áreas limitadas (Acosta *et al.*, (En prensa, 2007).

La presión ejercida sobre los manglares producidas por actividades antropogénicas relacionadas con el pastoreo, la utilización de suelos agrícolas, la tala

indiscriminada, la expansión urbana, contaminación y los disturbios naturales puede verse reflejada en disminución de su cobertura vegetal, fragmentación, pérdida de calidad, y pérdida de conectividad entre estos ambientes (Pinto, 2006). En algunas ocasiones estos niveles de perturbación pueden ser reversibles mediante acciones de protección y restauración, sin embargo, algunas actividades pueden causar modificaciones irreversibles en las comunidades naturales (Hernández-Cornejo y Ruiz-Luna, 2000). Por ello se considera que es importante realizar estudios donde, además de la distribución y extensión del manglar, también proporcionen indicadores de su condición actual que de alguna manera estén relacionadas con sus funciones ecológicas.

En algunas zonas la degradación del hábitat puede ser gradual y parcial, lo que da como resultado ecosistemas caracterizados por presentar parches aislados con formas diferentes. El ecosistema puede ser afectado dependiendo del nivel de degradación, ya sea por el rompimiento de los corredores biológicos naturales, por el cambio del microclima, o bien, como suele suceder en ocasiones extremas, por la extinción de especies de flora y fauna. A este proceso en el que un hábitat originalmente extenso es subdividido en áreas pequeñas y separadas por diferentes tipos de cobertura se le denomina *Fragmentación* (Johnson *et al.*, 1992; McGarigal y Marks, 1995). La Fragmentación es un proceso dinámico que da como resultado cambios marcados en el patrón espacial de un hábitat del paisaje a través del tiempo (Ramos, 2004). Aunque también puede ser un proceso natural, en la actualidad la mayoría de los procesos de fragmentación a nivel de paisaje tienen sus orígenes en la actividad humana, a través de la deforestación y el abandono de terrenos agrícolas, entre otros. Se menciona que los tres principales efectos de un proceso de fragmentación son: la pérdida o destrucción total del hábitat del paisaje, la reducción del hábitat y el aislamiento de los fragmentos del hábitat (Bennet, 1999). Este proceso de fragmentación puede ser analizado mediante el uso de métricas del paisaje a partir de las cuales es posible visualizar los cuatro aspectos más importantes de la fragmentación que afectan la conservación y funcionalidad de un ecosistema: a) la reducción de tamaño del fragmento, b) el

aislamiento, c) el efecto de borde y d) el aumento de la vulnerabilidad ante los disturbios intrínsecos (Ramos Bendaña, 2004).

Considerando la amplia distribución del bosque de mangle, la identificación de los cambios en su cobertura puede resultar costosa aún a nivel local, tanto en términos económicos y de tiempo cuando se lleva a cabo con los métodos de campo tradicionales, considerando la distribución de estos ambientes. Por ello, la Percepción Remota (PR) se perfila como una herramienta de gran utilidad para el análisis de ecosistemas costeros ya que puede proporcionar información adicional para el manejo de éstas zonas (Pattiaratchi, 1992; Mumby *et al.*, 1999). Diferentes estudios realizados con esta herramienta indican que éste método proporciona la mejor efectividad al menor costo para el mapeo y planeación de hábitat costeros (Mumby *et al.*, op. cit.). En el mismo sentido, el análisis mediante imágenes de satélite ha permitido el monitoreo de la variación espacial y temporal de las zonas de manglar, pero además permite obtener medidas cuantitativas para evaluar de manera indirecta la biomasa y el vigor vegetal (Campbell, 1996)

Actualmente diversos indicadores de la condición de la vegetación pueden obtenerse por medio de técnicas de percepción remota. Sin embargo, el Índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI, por sus siglas en inglés) es el más comúnmente utilizado debido a que es sensible a las variaciones del verdor que acompaña a la pérdida de agua en la vegetación, principalmente por la pérdida de clorofila vegetal (Chuvieco *et al.*, 2001). El NDVI es calculado a partir de los valores de reflectividad a distintas longitudes de onda, los cuales pretenden obtener información de la vegetación (Gilabert *et al.*, 1997).

En conjunto, tanto las métricas del paisaje, como los índices de vegetación, son indicadores de la condición de la cobertura terrestre, y cuando estos son analizados en el tiempo, son indicadores que pueden dar alguna evidencia del grado de perturbación temporal que ha sufrido la cobertura analizada.

Por su importancia ecológica existe mucho interés en los estudios enfocados a los ecosistemas de manglar, aunque a la fecha estos han estado principalmente basados en

tres aplicaciones de manejo: el mapeo e inventarios del manglar, análisis de detección de cambio y la evaluación de las actividades acuícolas dentro de estos ecosistemas (Green *et al.*, 2000). A pesar de que estos estudios son de gran importancia, se necesita mayor información que contribuya al estudio de variables que indiquen la condición de la vegetación en términos cualitativos.

Bajo esa perspectiva, el presente trabajo se llevó a cabo para determinar la distribución y extensión del manglar en el noroeste de México con aplicaciones de percepción remota, aportando al mismo tiempo indicadores que permiten conocer tanto el aspecto cuantitativo en cuanto a la distribución del recurso, además de algunos aspectos cualitativos que pretenden reflejar los niveles de conservación de los sistemas, su estado actual de salud y, con ello, proporcionar elementos para el manejo de esta importante cobertura terrestre en el noroeste de México.

ANTECEDENTES

Manglares

Existen varias definiciones del bosque de mangle (Odum, 1972; Snedaker y Getter, 1985) Se trata de la vegetación arbórea que se encuentra localizada en la zona de mareas, en la parte que corresponde al ecotono entre el medio marino y el terrestre de las regiones tropicales y subtropicales (Flores-Verdugo, 1989). Los manglares se distribuyen principalmente entre las latitudes 25°N y 25°S, dado que dentro de esta franja existen las mejores condiciones para el asentamiento de las especies que se integran dentro de este grupo, aunque también se les puede encontrar fuera de este intervalo de latitud.

Los manglares tienen en común una variedad de adaptaciones morfológicas, fisiológicas y reproductivas que les permiten colonizar los hábitats característicos de la zona intermareal. La distribución y el grado de desarrollo estructural de las especies de manglar dependen de su adaptabilidad a algunas condiciones como: las áreas costeras inundables, la variación de la salinidad, los cambios en el nivel de marea, la propensión a presentar suelos anóxicos, entre otros (Odum, 1972). Así mismo, los manglares dependen de diversos factores para su desarrollo, entre los que se encuentran la temperatura, las corrientes, salinidad, mareas y sustrato (Duke *et al.*, 1998). Otros autores sugieren que también es importante el pH, así como los aportes de agua dulce y nutrientes (Cintron y Schaeffer-Novelli, 1983).

Esta vegetación se agrupa dentro de 12 familias, que comprenden mas de 50 especies en el mundo (Chapman, 1975). En México existen 5 especies de manglar: *Rhizophora mangle*, *R. harrisoni*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans*, y *Conocarpus erectus* (Pennington y Sarukhán, 1998). La vegetación de manglar tiene la particularidad de adaptarse a hábitats salinos, con sedimentos ricos en materia orgánica, en zonas de inundaciones periódicas (Odum, 1972).

La importancia de estos sistemas ha sido documentada ampliamente, destacando entre los beneficios aportados por esta vegetación la protección contra huracanes, tormentas y efectos del oleaje, el control de la erosión de la costa, proveedor de áreas de crianza, reproducción y alimentación de aves y especies acuáticas de importancia comercial, exportación de material orgánico, entre muchas otras (Barbier *et al.* 1997).

Aunque la vegetación de manglar en México se distribuye en el Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe, presenta mayor interés en algunas zonas debido a su extensión, por el grado de deterioro, o bien, por su nivel de conservación. En la costa del Pacífico mexicano se encuentran distribuidos de forma irregular, localizados en los límites de la Península de Baja California y en la mayoría de los estados ribereños, desde Sonora hasta Chiapas (Lot y Novelo, 1990; Ramírez-García y Lot, 1994; Pacheco-Ruiz *et al.*, 2006).

La distribución del manglar es en general más homogénea en el Golfo de México, debido a las características hidrológicas, climáticas y por el origen tectónico de sus costas (Flores-Verdugo, 1989). Sin embargo, en la costa del Pacífico, se encuentran grandes extensiones de manglar particularmente en el sistema Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales en los estados de Sinaloa y Nayarit (Acosta, 2003; Berlanga-Robles y Ruiz-Luna, 2006) y la Encrucijada en Chiapas. Cabe mencionar, que dentro del área de estudio Marismas Nacionales, en el Estado de Nayarit, el sistema lagunar Santa María-la Reforma, en Sinaloa y la laguna de San Ignacio en Baja California sur son identificadas como sitios Ramsar, debido a su importancia como zona de humedales.

En muchas partes del mundo las poblaciones que habitan la zona costera utilizan los recursos de su localidad para uso comercial, por lo tanto el manglar también aporta beneficios domésticos, como madera, pulpa, astillas, leña y carbón, (Snedaker y Getter, 1985). En los estados de Sinaloa y Nayarit, México, se utilizan para la construcción de tapos, artesanías y para la construcción de casas (Observación personal).

Aplicaciones de Percepción Remota en estudios de manglar.

Una herramienta de gran utilidad en los estudios relacionados con ambientes de la zona costera es la percepción remota (PR), la cual se ha utilizado para diferentes aplicaciones en los análisis de la cobertura de manglar (Hardisky *et al.*, 1986; Pattiaratchi, 1992; Green *et al.*, 1996; Mumby *et al.*, 1999), además de ser útil para la toma de decisiones de manejo que ayuden al uso sustentable de este ecosistema.

Como PR se define a la capacidad de obtener información acerca de un área u objeto a través del análisis de datos obtenidos mediante un sensor, el cual no está en contacto con el objeto (Lillesand *et al.*, 2004). Con el uso de esta técnica se han realizado diferentes estudios relacionados con ecosistemas de manglar, ya que se considera como la única herramienta que nos permite analizar en tiempo y espacio grandes áreas geográficas sin la necesidad de los estudios de campo exhaustivos (Green *et al.*, 1996).

Existen diversos métodos de procesamiento de imágenes y diferentes sensores que se han utilizado eficazmente para el análisis de manglar. Se ha mencionado que el análisis de la cobertura de manglar mediante técnicas de PR ayuda a evaluar los cambios de la línea de costa y/o el incremento en el nivel del mar (Blasco *et al.*, 1996).

Extensión de manglar

A nivel mundial existen estudios que han analizado la superficie de manglar. La FAO ha recopilado información sobre este tema, donde las cifras van desde 15 millones de ha en 1980 hasta 17 millones de ha de manglar en el mundo en el año 2000 (Ruiz *et al.*, 2007).

Por lo que respecta a México, también se han llevado a cabo diversos estudios relacionados con la superficie de manglar y sus cambios a lo largo del tiempo con el uso de PR. Sin embargo, la mayoría de las veces las cifras reportadas varían, por ejemplo en 1994 se reportaron 721,554 ha (SARH-UNAM, 1994; CONABIO, 1996), Sunam (1994) reportó 448,000 ha y Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez (1999) 524,600 ha.

Dentro de los estudios realizados en cuanto a la superficie de manglar en el estado de Baja California Sur, se encuentran Ruiz-Luna *et al.*, (2004) quienes utilizando imágenes Landsat ETM+ estimaron la superficie de manglar en ese estado (24,000 ha), analizando también la distribución de la cobertura. Otro estudio analiza la variación de la cobertura y la estructura de los manglares en los sistemas lagunares de Bahía Magdalena-Bahía Almejas, de 1990 a 2005 (Acosta y Ruiz, 2007).

En Sinaloa también existen estudios que analizan la superficie de manglar en diferentes partes del estado, además de evaluar las tasas de deforestación, el análisis de las asociaciones de manglar, y la disminución de la cobertura vegetal (Ruiz-Luna y Berlanga-Robles, 1999; Gurrola, 2000). Fregoso y Cotler en el 2005 realizaron una recopilación de trabajos realizados en el Pacífico Mexicano, la mayoría realizados por los autores mencionados anteriormente (Ramírez García *et al.*, 1998; Ruiz-Luna y Berlanga-Robles, 1999; Berlanga Robles y Ruiz Luna, 2002; Alonso-Pérez *et al.*, 2003) en donde se integran distintas fuentes para estimar la superficie de manglar en México y las tasas de deforestación.

Nayarit ha sido uno de los estados donde se han aplicado varios estudios debido a la gran diversidad de ecosistemas que tiene, también se han evaluado los bosques de manglar, su superficie, los cambios a través del tiempo, la estructura y composición del manglar (Páez, 2000; Kovacs *et al.*, 2001; Acosta, 2003; Tovilla y Orihuela, 2004; Ramírez, 2006).

Factores de deterioro de los bosques de manglar

Uno de los temas de mayor polémica, además de las cifras actuales de superficie de manglar, son los factores que han causado perturbaciones a este tipo de ecosistemas naturales y el grado de pérdida.

A nivel mundial, los manglares representan aproximadamente el 7.5% de los bosques tropicales (Acosta y Ruiz, 2007), si bien Valiela *et al.*, (2001) mencionan una pérdida de 35% de cobertura mundial de manglar en el periodo de los 80s y 90s,

señalando la acuicultura como principal causa, aunque también señalan que la pérdida puede ser ocasionada por la expansión de la zona urbana, al desarrollo de la agricultura, al desarrollo turístico y a la tala de manglar para usos diversos. Por su parte, Alonso-Pérez *et al.*, (2003) señalan otros factores que afectan a esta vegetación como las transformaciones en el régimen hidrológico derivadas de la construcción de diques, la canalización de los ríos, sin dejar de mencionar la presión que ejerce la camaronicultura a estos ambientes. Field (1995) ha mencionado que la cobertura de manglar puede disminuir debido a perturbaciones climáticas de carácter global como el incremento del nivel medio del mar. Sin embargo, se ha sugerido que una alta proporción de los ecosistemas de manglar a nivel mundial ha sido arrasada y degradada por malas prácticas de explotación, destrucción de hábitat, relleno y desecamiento, cambios hidrológicos debido a proyectos de infraestructura, y contaminación, incluyendo la industrial, los residuos domésticos, y los derrames de petróleo (Astrálaga, 2006). En este sentido en una recopilación realizada por Valiela *et al* (2001), mencionan que los factores antropogénicos son los que causan el mayor daño a los ecosistemas de manglar, encontrándose la camaronicultura, el uso forestal y la acuicultura en general como las principales actividades que dañan a estos sistemas. Sobre ese tema, también en el noroeste de México existen evaluaciones para conocer si los humedales costeros han sido afectados por la actividad acuícola, ejemplo de ello está el trabajo de Alonso-Pérez *et al.*, (2003), quienes evalúan el impacto de la camaronicultura en Bahía Ceuta, en el estado de Sinaloa, mencionando que esta actividad causó nuevas presiones sobre el paisaje costero, siendo la zona de marismas las más afectadas. En otro estudio similar para el sur del estado de Sinaloa, Hernández-Cornejo y Ruíz-Luna (2000) evaluaron las características de la actividad camaronícola desde un punto de vista regional, para estimar la contribución de ésta hacia el cambio de uso de suelo en relación a su crecimiento a través del tiempo mencionando que esta actividad aunque no ha provocado serias alteraciones al paisaje mediante la construcción de los diques utilizados para la acuicultura, algunos procesos naturales tales como el régimen hidrológico en los sistemas estuarinos sí han sido modificados por la infraestructura acuícola (canales,

dragados). Así mismo Ruiz-Luna y Berlanga-Robles (2003) evaluaron los cambios de cobertura y el uso de suelo, así como la superficie de las lagunas costeras, en relación al crecimiento urbano en el noroeste de México, principalmente al sur del estado de Sinaloa, reportando que el crecimiento del desarrollo urbano se relacionaba directamente con la reducción en el tamaño de las lagunas costeras y cómo dos de éstas lagunas estudiadas redujeron su tamaño, además mencionan que a pesar de que la vegetación natural es la cobertura más afectada en su estudio, el manglar mostró un pequeño decline (15%) en el periodo de 1973 a 1997.

Indicadores de condición de la vegetación

Actualmente son relativamente pocos los trabajos que analizan indicadores cualitativos de la cobertura de manglar. Como se mencionó anteriormente la mayoría de los estudios son enfocados a el mapeo e inventarios de manglar, al análisis de detección de cambios, y a la evaluación del impacto de las actividades acuícolas dentro de estos ecosistemas (Green *et al.*, 2000). Esto abre la posibilidad de utilizar nuevos enfoques para evaluar la condición de la cobertura vegetal. Los Índices de Vegetación (IVs) han sido desarrollados buscando la manera de analizar la vegetación a partir de los valores de reflectividad a distintas longitudes de onda con el propósito de extraer información relacionada con la vegetación, minimizando al mismo tiempo la influencia de perturbaciones como las debidas al suelo y a las condiciones atmosféricas (Gilbert *et al.*, 1997). Los IVs han sido utilizados como un recurso para el monitoreo del crecimiento y la productividad de las cosechas. También se les ha dado un uso como herramienta cualitativa para asistir en la clasificación de imágenes, separar coberturas vegetales de otros tipos de coberturas no vegetales, distinguir entre diferentes tipos de densidades de vegetación y en el monitoreo de las variaciones estacionales en el vigor vegetal, abundancia y distribución (Campbell, 2007). Entre los IVs más utilizados se encuentra el Índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI), el cual ha sido utilizado por diferentes autores para la predicción de variables ecológicas como el

porcentaje de cobertura vegetal, indicador de biomasa, para el índice de área foliar (Lawrence y Ripple, 1998), para evaluar el contenido de humedad de diferentes especies en el mediterráneo, con el supuesto de que el conocimiento previo de la cantidad de agua en un cultivo en regadío permite mejorar la gestión de recursos hídricos (Chuviéco *et al.*, 2001) y para la prevención de incendios forestales. En la zona de estudio de este trabajo son pocos los estudios donde han implementando el análisis de IVs como el NDVI. Algunos ejemplos son Acosta (2003), el Sistema Lagunar Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales y Berlanga-Robles (2006).

Ecología del paisaje

La ecología del paisaje se encarga de la aplicación del análisis espacial para problemas del planeamiento y manejo de hábitat, y ha surgido por la necesidad de analizar la fragmentación de los ecosistemas, reducción, simplificación y contaminación. El principal objetivo de la ecología del paisaje es describir la relación que existe entre la forma del paisaje y su función para poder diseñar paisajes que soporten mayor riqueza de especies y que sean más productivos. En este sentido, debido a la necesidad de métodos que permitan cuantificar los aspectos de patrones del paisaje que puedan ser relacionados con procesos ecológicos, como la propagación de disturbios o el movimiento de organismos (O'Neill *et al.*, 1988), se han diseñado una serie de métricas del paisaje basadas en el análisis de la geometría del paisaje que son cuantificables a tres niveles: a nivel de parche, de clase y de paisaje (Hargis *et al.*, 1998; Turner *et al.*, 2001). Existen métricas para conocer el tamaño y número de los parches, para cuantificar la ocurrencia de ecotonos, para medir la diversidad y la configuración del paisaje, en general se basan en la cuantificación de la composición y configuración espacial de un mapa sin referencia a los atributos espaciales. Sin embargo, estas medidas están basadas en parámetros básicos como el tamaño del parche, la forma, el perímetro y la distancia entre parches, por lo tanto es esperado encontrar relaciones entre las métricas utilizadas y en ocasiones la información que resulta es redundante, además de que las métricas

varían de acuerdo a la intensidad de degradación de un paisaje (Gustafson y Parker, 1992).

En diversos lugares del mundo, pero principalmente en Europa, Japón, EUA y Canadá, han realizado investigaciones encaminadas al monitoreo del paisaje, utilizando distintas herramientas como la fotografía aérea, imágenes de satélite y diferentes índices (Hargis *et al.*, 1998). En México existen diversos trabajos donde se aplican distintas métricas. Algunos ejemplos de ello en la zona de estudio son Acosta (2003), quien aplicó métricas de paisaje para analizar la posible relación entre las métricas del paisaje y la condición vegetal en el Sistema Lagunar Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales en el Estado de Nayarit. Trujillo (2007), que evaluó el grado de Fragmentación en el sistema lagunar Altata-Ensenada de Pabellones y Ramírez (2006) para analizar los cambios en la condición del bosque de manglar y su grado de fragmentación.

OBJETIVO GENERAL

Estimar la condición actual y los posibles cambios temporales de los sistemas de manglar del noroeste de México mediante el análisis de su respuesta espectral y de su nivel de fragmentación.

Objetivos específicos

- Determinar los valores del índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI) de la cobertura de manglar del noroeste de México.
- Asociar tipos fisonómicos de manglar con la respuesta espectral asociada y establecer sus patrones de distribución espacial.
- Estimar los cambios en la condición de los manglares a través del tiempo.
- Establecer el grado de fragmentación de los sistemas de manglar en la zona de estudio mediante la aplicación de métricas del paisaje.

MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio comprende la zona litoral conformada por los estados de Nayarit, Sinaloa, Sonora y Baja California Sur, en el norte del Pacífico mexicano (Fig. 1). En esta zona se encuentran gran número de bahías y lagunas costeras, particularmente dentro del Golfo de California. Asimismo están presentes diversos climas, predominando los climas cálidos y secos para Sonora y Baja California Sur, mientras que en Sinaloa y Nayarit, el clima es preponderantemente templado. Esta zona es rica en diversidad biológica y presenta alta productividad debido a características particulares de la topografía submarina y corrientes, que favorecen la presencia de surgencias.

Al interior del golfo de California se cuenta con aproximadamente 600 islas y 40 sistemas estuarino-costeros. En la costa oeste de Baja California Sur destaca la presencia de sistemas lagunares e islas, destacando el sistema lagunar Bahía Magdalena – Bahía Almejas como uno de los sistemas lagunares más importantes de la zona, que cuenta con la mayor superficie de manglar dentro de este estado. En el estado de Sonora, también se encuentran sistemas lagunares importantes, aunque de menor tamaño y con menor cobertura de manglar debido a las condiciones que prevalecen en este estado, como su clima seco y baja precipitación. Por otra parte, el estado de Sinaloa cuenta con una importante extensión litoral de aproximadamente 650 km, el cual cuenta con aproximadamente 221,600 ha de lagunas litorales y otros sistemas estuarinos que se distribuyen a lo largo del estado y en donde se encuentran grandes extensiones de manglar. Finalmente destaca el estado de Nayarit, donde se ubica el sistema Marismas Nacionales, que da continuidad a un sistema de humedales que se ubican desde el sur de Sinaloa. Esta zona corresponde a la extensión más importante de manglar en el Pacífico mexicano y dentro de ella coexiste una gran diversidad de hábitats que incluyen bosques de manglar, marismas, pantanos, estuarios, lagunas y sistemas de agua dulce que en

conjunto soportan grandes cadenas tróficas (Pácz-Osuna *et al.*, 2003; Carrera y de la Fuente, 2003)

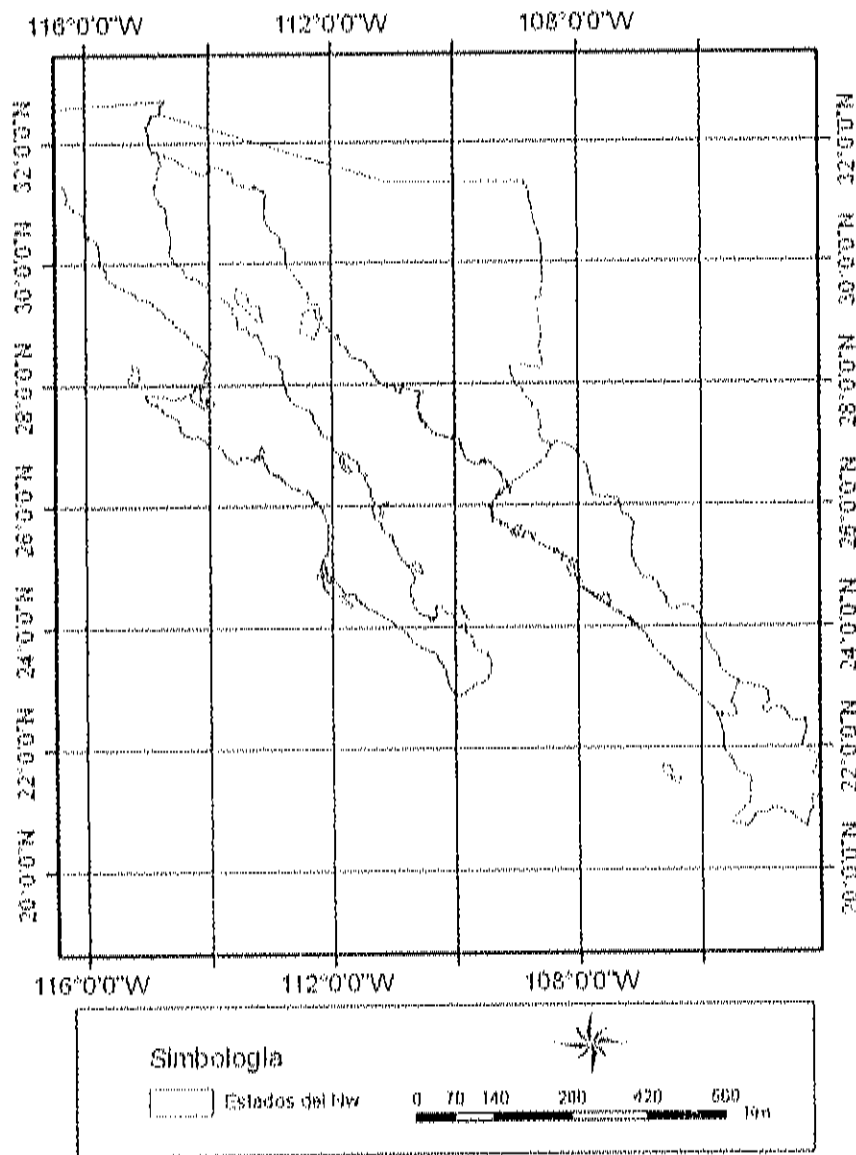


Figura 1. Noroeste de México y golfo de California. El área de estudio incluye la zona litoral de todos los estados excepto Baja California (BC)

Dentro de la región se llevan a cabo diversas actividades económicas dentro de las cuales predomina la agricultura tecnificada particularmente en el norte de Sinaloa y Sonora, mientras que la agricultura de temporal o por retención de humedad es más

común al sur de Sinaloa y en Nayarit. De igual manera son importantes las actividades relacionadas con el turismo, la pesca artesanal multiespecífica y la industrial (centrada principalmente en camarón y pelágicos menores), así como la acuicultura, enfocada al cultivo de especies de camarón del género *Penaeus* (actualmente *Litopenaeus* y *Farfantepenaeus*).

Con excepción de Nayarit, en la zona costera los principales centros de población se ubican lejos de las zonas de distribución de manglar, aunque en todos los casos los sistemas de manglar presentan en sus cercanías poblados con menos de 5,000 habitantes, principalmente asociados a actividades pesqueras o acuícolas.

Procesamiento de Imágenes

Para el presente estudio se utilizaron 16 imágenes del satélite Landsat, sensor TM del año 2005, y la serie del sensor MSS para el año 1973, las cuales cubren toda el área de estudio. Las escenas correspondientes para al año 1973 pertenecen a las coordenadas (path-row) 36-43, 37-43, 38-42, 38-43, 39-41, 32-45, 36-42, 37-41, 38-40, 39-40, 33-45, 34-43, 34-44, 35-42, 35-43, 36-41, 33-44, 38-41, 33-44 y las pertenecientes al 2005: 35-42, 35-43, 36-42, 34-41, 34-42, 35-40, 35-41, 36-40, 31-44, 34-42, 32-43, 33-42, 33-43, 31-45, 30-45, 33-45. Dependiendo de su localización, las imágenes están proyectadas a las zonas UTM 12 y 13 norte, con base en el Datum NAD83 (North America Datum 1983). Las imágenes provenientes del sensor MSS fueron corregidas geométricamente por los proveedores, proporcionándoles un tamaño de píxel con una resolución de 60 m. Todas las imágenes se corrigieron geométricamente para que presentaran una resolución espacial de 30 m. En cuanto a las características espectrales, el sensor Landsat TM cuenta con siete bandas, tres del espectro visible (A, V, R), un infrarrojo cercano (IRc), dos infrarrojos medios (IRm) y un infrarrojo térmico (IRT), aunque esta última no fue incluida en el análisis. El sensor MSS presenta 4 bandas, dos del espectro visible (V, R) y dos infrarrojos cercanos.

Para la mayor parte de la zona de estudio se utilizaron los resultados de la clasificación de imágenes Landsat previamente elaborados por personal del Laboratorio de Manejo Ambiental del CIAD (Monzalvo, 2006; Ramírez, 2006; Acosta-Velázquez y Ruiz-Luna, 2007). Cuando no se contó con dicha información o como consecuencia de la revisión de resultados que se consideraron incompletos o inadecuados, se procedió a la clasificación del material necesario para completar el área de distribución de manglar en los estados del noroeste, utilizando los métodos de clasificación y de evaluación de la exactitud aplicados por los autores anteriormente mencionados. Cabe mencionar que las clasificaciones utilizadas para este trabajo, cuentan con una exactitud global arriba del 80% y coeficientes de Kappa que van de concordancia moderada a casi perfecta, de acuerdo a la clasificación de Landis y Koch (1977).

Análisis de la condición vegetal

La cobertura de manglar presente en cada una de las imágenes fue utilizada como máscara para eliminar del análisis el resto de las coberturas. Se generaron imágenes binarias (0, 1) asignando el valor de 1 a la clase manglar y de 0 al resto de la imagen. Por medio de álgebra de mapas utilizando el módulo *overlay* se eliminó la información espectral innecesaria, aplicándose este procedimiento a las bandas 3 y 4, requeridas para la obtención de los valores del índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI) del sensor TM y las bandas 2 y 4 para el sensor MSS.

El NDVI opera mediante el análisis de la respuesta espectral en las porciones del rojo e infrarrojo cercano (Gilbert *et al.*, 1997). Esto se debe a que la vegetación hace uso de la luz roja del espectro visible para el proceso fotosintético, a la vez que la estructura de la pared celular de las plantas reflejan la luz del infrarrojo cercano, por lo tanto la diferencia entre la luz absorbida y la reflectada da como resultado un indicador de la concentración de clorofila y biomasa vegetal. Por lo cual, los valores de NDVI resultan de la combinación aritmética basada en el contraste entre los patrones de

respuesta espectral de la vegetación en las porciones del rojo e infrarrojo cercano del espectro electromagnético.

La fórmula se muestra a continuación:

$$NDVI = \frac{IRc - Rojo}{IRc + Rojo}$$

Donde:

IRc: valores de brillantez en la banda del Infrarrojo

Rojo: valores de brillantez en la banda del rojo visible

Los valores que se obtienen de la operación arriba descrita tienen un rango de variación entre -1 y 1, correspondiendo los valores negativos o cercanos a cero a áreas donde la presencia vegetal es escasa o nula. En contraste, los valores cercanos a 1 representan cubierta vegetal sana y abundante. Con base en el cálculo del NDVI para cada imagen, se hizo una reclasificación de los resultados, eliminando todos los valores negativos y los positivos < 0.07 para el caso de las imágenes Landsat TM y < 0.03 para las imágenes Landsat MSS, debido a que éstos son los valores mínimos con presencia de cubierta vegetal. De esta manera se garantizó que las imágenes previamente clasificadas incluyeran algún tipo de vegetación, que en principio está asociada con manglar.

En función de la distribución de los valores del NDVI estableciendo el rango más amplio entre los valores máximo y mínimo de NDVI para cada sensor, se utilizó el método de cuartiles, que dividen al conjunto de datos ordenados en cuatro partes porcentualmente iguales. El límite entre el segundo y tercer cuartiles corresponde al valor de la mediana. Cada cuartil se asoció con tipos o categorías de manglar, que pudieran corresponder a coberturas con diferencias en cuanto a las características del dosel ya sea cerrado o abierto. De acuerdo con Berlanga-Robles (2006), los manglares del sistema Teacapán-Agua Brava- Marismas Nacionales que presentaron valores de NDVI mayores a 0.35 corresponden a áreas con dosel cerrado. Sin embargo, para el presente trabajo los valores de NDVI de cada cuartil corresponderían a gradaciones de vegetación con diferencias en el contenido de clorofila y abundancia de follaje, que son

indirectamente evaluados por su respuesta a las longitudes de onda del rojo e infrarrojo cercano (Campbell, 2007). Los valores correspondientes a los cuartiles 1 y 4 (Tipos 1 y 4) se relacionan con los extremos entre escaso follaje y bajo contenido de clorofila y alta concentración de clorofila y abundante follaje, respectivamente. Los tipos 2 y 3 representan valores intermedios, que corresponden a los cuartiles 2 y 3, respectivamente.

Con las imágenes clasificadas como manglar y como Tipos de manglar se procedió a elaborar mosaicos a nivel estatal, uniendo las distintas escenas utilizando el método de Mosaico de IDRISI, que consiste en que una vez que todas las imágenes que se desean unir se convierten al mismo sistema de referencia, tipo de datos, y misma resolución, estas se traslapan y se crea una nueva imagen donde las características numéricas del juego de imágenes son balanceadas. Una vez concluido el mosaico se definieron los límites de distribución de manglar a nivel estatal utilizando los límites geográficos correspondientes.

Finalmente, se obtuvieron los datos de superficie total por sistema lagunar y por estado, así como la superficie según el Tipo de manglar, generándose los mapas de distribución de los manglares como cobertura única y por tipos para los dos años de estudio, y se comparan los totales para analizar la pérdida de cobertura de manglar con la diferencia de superficie total y por tipos de los dos años de estudio.

Para determinar las posibles diferencias entre los tipos de manglar en los diferentes años, para cada sistema lagunar, se utilizó la prueba no paramétrica χ^2 , la cual mide la discrepancia (bondad de ajuste) entre una distribución observada y otra teórica, indicando en qué medida las diferencias existentes entre ambas, de haberlas, se deben al azar.

Para la estimación de esta prueba estadística se utiliza la siguiente fórmula:

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{observada} - \text{teórica})^2}{\text{teórica}}$$

Los grados de libertad vienen dados por:

$g = (r-1)(k-1)$. Donde r es el número de filas y k el de columnas.

Donde el criterio de decisión es como sigue:

Se acepta H_0 cuando $\chi^2 < \chi_t^2(r-1)(k-1)$. En caso contrario se rechaza.

Donde t representa el valor proporcionado por las tablas, según el nivel de significación elegido. Cuanto más se aproxima a cero el valor de chí-cuadrado, más ajustadas están ambas distribuciones.

Análisis de Fragmentación

Para analizar el grado de fragmentación de la cobertura de manglar para el área de estudio, se utilizaron los mapas de distribución de esta cobertura vegetal por sistema lagunar, aplicando una perspectiva de paisaje de islas biogeográficas, donde se analizan los parches como unidad, rodeados de una matriz neutra (McGarigal *et al.*, 2002), por lo que se utilizó un formato binario, donde a los valores de fondo de la imagen se les asignó un valor negativo y a los píxeles que pertenecen a la cobertura de manglar se les dio valor de uno. Las imágenes que corresponden al sensor Landsat MSS se corrigieron geométricamente para que todas tuvieran una resolución espacial de 30 m.

El análisis de fragmentación consistió en la aplicación de métricas estructurales a nivel paisaje con la regla de vecindad de ocho píxeles utilizando el programa Fragstat 3.3 (McGarigal y Marks, 1995). Se utilizaron métricas de área, de forma, de aislamiento y de vecindad, que permiten evaluar la configuración espacial, refiriéndose con esto al carácter, arreglo, posición, y orientación de los parches dentro del paisaje. Los índices utilizados, son descritos por McGarigal y Marks (1995), son:

Índices de área: Se utilizaron métricas de paisaje a nivel de parche y clase, que estiman el área total (Area), el número de parches (NP) y la densidad de parches (PD).

Índices de forma: Evalúan la complejidad de los parches, relacionada con su geometría y analizando si tienden a ser simples (generalmente de forma cuadrada) o irregulares. El

Índice de Forma (*Shape*) adquiere valores ≥ 1 . Cuando se aproxima al valor de 1, el parche es compacto, ya sea en forma circular o cuadrada, y el valor incrementa sin límites cuando la forma de los parches se hace más irregular. El índice de dimensión fractal, es un indicador de la complejidad del parche y sus valores se ubican entre 1 y 2. Los valores próximos a 1 implican formas regulares, simples, mientras que los parches que obtienen valores próximos a 2 presentan irregularidades, intrincados y de estructura complicada.

Índices de agregación: Si bien son dos tipos de métricas, el contagio o aislamiento son complementarios en tanto que definen la tendencia de los parches a estar relativamente aislados o en proximidad, ya sea de la misma clase o de clases similares. Se utilizó la Distancia euclidiana al vecino más cercano (ENN) para analizar el aislamiento de los parches. El rango de valores para este índice son de > 0 , sin límites. ENN se aproxima a 0 cuando la distancia al vecino más cercano disminuye, es decir que los parches están menos aislados. Como indicador de la tendencia de los parches a distribuirse de manera agregada, se aplicó el Índice de Contagio, cuyo intervalo de valores va de 0 a 100. Cuando el valor de contagio se aproxima a cero, indica que los tipos de parches están totalmente desagregados, por el contrario, cuando el valor del índice de contagio es igual a 100, indica la máxima agregación de los parches.

También se midió el *Índice de Agregación* (AI) para complementar la medición de la agregación de los parches, el rango de valores es similar al Índice de Contagio donde un valor de AI igual a 0, significará parches desagregados al máximo. AI incrementa cuando el paisaje se vuelve más agregado, y equivale a 100 cuando el paisaje consiste en un parche simple.

Valoración de la calidad ambiental de los sistemas de manglar

Se estableció un sistema de puntaje que jerarquiza los valores de algunas de las variables evaluadas, particularmente el NDVI y las métricas de paisaje de ambas fechas, como

indicadores de la calidad de los sistemas de manglar. Este método permite estandarizar los resultados obtenidos en el análisis de ambas fechas de estudio, independientemente de las características de los diferentes sensores usados, permitiendo determinar cuales fueron los sistemas sujetos a mayor grado de perturbación al ubicarlos en un sistema de rangos.

Para tal efecto, se ordenaron los valores estimados de las métricas de paisaje y del NDVI por año y por sistema lagunar. Considerando que el número de sistemas lagunares que pudieron ser comparados en ambas fechas ascendió a 16, se asignó el valor de 1 al valor más alto de cada indicador y en consecuencia el valor de 16 a los que presentaron los valores mínimos o indicativos de mayor perturbación. Para asignar el puntaje se utilizó el siguiente criterio:

- **Número de Parches:** Los valores se ordenan de menor a mayor, asignándose un puntaje de 1 al sistema con menor número de parches, ya que un aumento en el número de parches puede ser un indicador de un proceso de fragmentación.
- **Índice de Forma:** Dado que valores iguales o cercanos a 1 corresponden a sistemas con formas más complejas, en principio representativas de una mayor naturalidad, se asignó la categoría 1 al valor más elevado, próximo a la unidad y las categorías subsecuentes en orden descendente del valor estimado.
- **Índice de Dimensión Fractal:** se le asignó un puntaje de 1 al valor máximo de este indicador, el cual corresponde a sistemas con formas más complejas.
- **Distancia Euclidiana:** Los valores se ordenaron de menor a mayor, dado que menores distancias implican mayor posibilidad de conectividad entre parches, asignándose la categoría 1 al mínimo valor de este indicador.
- **Índice de agregación:** Se asignó la categoría 1 a los valores más altos de este índice, que representan al sistema con parches más agregados
- **NDVI:** Los valores se ordenaron de mayor a menor, dando al valor más alto el puntaje 1, que representa al sistema cuyos valores de NDVI representan la

máxima concentración de clorofila y la mayor cantidad de pared celular, asociada a un follaje más denso.

Una vez categorizados los valores en cada una de las variables, ordenados de 1 a 16 en cada fecha, se contrastaron los resultados obtenidos en las dos fechas de análisis, calculándose la diferencia entre los valores de cada variable, como se representa en el esquema siguiente.

Sistema lagunar	Orden ¹⁹⁷³	Orden ²⁰⁰⁵	Diferencia
X_1	O_{11973}	O_{12005}	$O_{12005} - O_{11973}$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
X_n	O_{n1973}	O_{n2005}	$O_{n2005} - O_{n1973}$

El procedimiento anterior se llevó a cabo con cada una de las cinco variables consideradas (métricas y NDVI) y los resultados de las diferencias fueron sumados para obtener un puntaje final, que también fue ordenar siguiendo un arreglo creciente. Se considera de esta manera que los sistemas lagunares que obtuvieron los menores valores corresponden a una situación ambiental que ha favorecido el desarrollo y conservación de los manglares en el noroeste de México. Finalmente, el conjunto de sistemas de manglar fue categorizado en cuatro grupos, donde el primer grupo corresponde a sistemas que observaron pocos cambios o cambios positivos entre fechas, mientras que los sistemas que estuvieron sujetos a mayor perturbación fueron asignados al cuarto grupo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de manglar y determinación de los valores de NDVI

Una vez que se contó con todas las escenas del noroeste de México clasificadas como manglar por Monzalvo (2006), Ramírez (2006), Acosta-Velázquez y Ruiz-Luna (2007) y otras derivadas del proyecto SEMARNAT-2002-C01-0044, desarrollado en el Lab. de Manejo Ambiental del CIAD-Mazatlán, con niveles de exactitud $\geq 80\%$, se extrajo la información de las diferentes imágenes, para determinar los valores del NDVI y eliminar de dichas escenas las áreas clasificadas incorrectamente como vegetación y al mismo tiempo para conocer la condición del bosque de mangle para la zona de estudio.

A fin de determinar las condiciones actuales y tendencias de variación en el noroeste, los resultados se presentan a nivel estatal y por sistema, por año de evaluación, en un gradiente norte-sur.

Baja California Sur. Para este estado la mayor concentración de manglar se presenta en la costa oeste, principalmente en la zona central, asociada con el sistema bahía Magdalena–Bahía Almejas y boca La Soledad (Adolfo López Mateos), aproximadamente entre 24°18' N y 25°45' N. Otro de los sistemas importantes de este estado se ubica al norte (estero La Bocana – bahía Ballenas - bahía San Ignacio – estero El Dátil), entre 26°23' N y 26°50' N, donde se observa el límite norte de distribución de esta vegetación (Campo René) en la costa del Pacífico oriental (Fig. 2). Con respecto al mar de Cortés, se obtuvieron registros de otras localidades con presencia de manglar a lo largo de la costa de BCS, aunque se extiende su distribución hasta la parte sur de BC (Pacheco-Ruiz *et al.*, 2006). Sin embargo, con excepción de los sistemas localizados en Mulegé, la isla San José y en La Paz, estas reducidas áreas con manglar son poco perceptibles para los sensores Landsat, especialmente para MSS, dada su resolución espacial (60m).

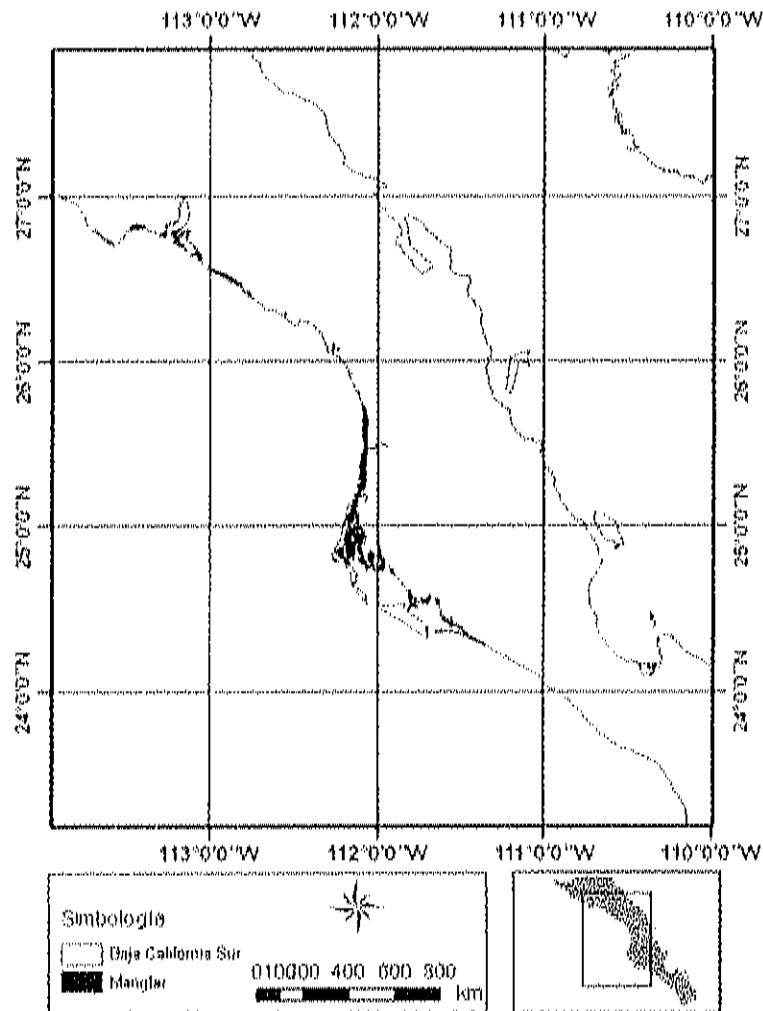


Figura 2. Distribución de manglar (polígonos negros) en Baja California Sur, 2005. El recuadro gris al interior de la figura indica el área de distribución dentro del estado.

Con respecto a los valores del NDVI que se asociaron exclusivamente a la cubierta vegetal, para el año 1973 se obtuvo un promedio de 0.29 (desv. est. = 0.12), con valores máximos de 0.63 localizado en bahía Magdalena (Tabla 1). Cabe recordar que el valor máximo adquirido por este índice es de 1.0, correspondiendo los valores más próximos a la unidad a vegetación sana, con follaje denso y altas concentraciones de clorofila. Los valores que tienden a cero o menores de cero están asociados con otro tipo de coberturas distintas de la vegetal (Weier y Herring, 2007).

Para el siguiente periodo de estudio, en el 2005, hubo variación en el intervalo de valores del NDVI. En promedio para todo el estado se obtuvo un valor de 0.36 (d.e. = 0.12), lo que representa un aumento de 0.07, con respecto a 1973. El máximo valor reportado es de 0.73, nuevamente localizado en el sistema asociado con bahía Magdalena.

Tabla 1. Valores promedio, desviación estándar (d.e.) y valor máximo del NDVI para los sistemas de manglar de Baja California Sur (1973).

Sistema lagunar	NDVI		
	promedio	d.e.	máximo
B. San Ignacio	0.27	0.12	0.60
B. Magdalena	0.28	0.14	0.63

Por sistema también se observan diferencias destacando un mayor promedio en el sistema bahía Magdalena y dado que es el sistema de manglar de mayor proporción en el estado, representando cerca del 70% del total (Acosta-Velázquez y Ruiz-Luna, en prensa), es el que tuvo mayor influencia sobre el promedio general (Tabla 2). De igual manera, se incluye en la evaluación el sistema de manglares localizado en La Paz, que pudo ser evaluado al contarse con una mejor resolución espacial de la imagen.

Tabla 2. Valores promedio, desviación estándar (d.e.) y valor máximo del NDVI para los sistemas de manglar de Baja California Sur (2005).

Sistema lagunar	NDVI		
	promedio	d.e.	Máximo
B. San Ignacio	0.29	0.12	0.65
B. Magdalena	0.38	0.13	0.73
La Paz	0.32	0.11	0.64

Sonora. Los sistemas de manglar en este estado se encuentran distribuidos en parches de tamaño relativamente pequeño y con un patrón espaciado. De norte a sur, los primeros parches se localizan desde el estero Sargento, aproximadamente a partir de los 29°20' N

hasta Bahía Kino en los $28^{\circ}47' N$ (Fig. 3). Posteriormente se distribuye otro conjunto de parches desde Guásimas a Estero Lobos, correspondiente a la mayor cobertura de manglar en el estado, localizada entre $27^{\circ}12' N$ y $27^{\circ}52' N$.

Otra extensión de manglar relativamente importante se encuentra en bahía Tobari y Los Mayas, entre $27^{\circ}09' N$ y $26^{\circ}55' N$. Por último, al sur del estado se localizan parches de manglar en las bahías de Huatabampo y, Yavaros y compartiendo con Sinaloa, en la bahía Agiabampo.

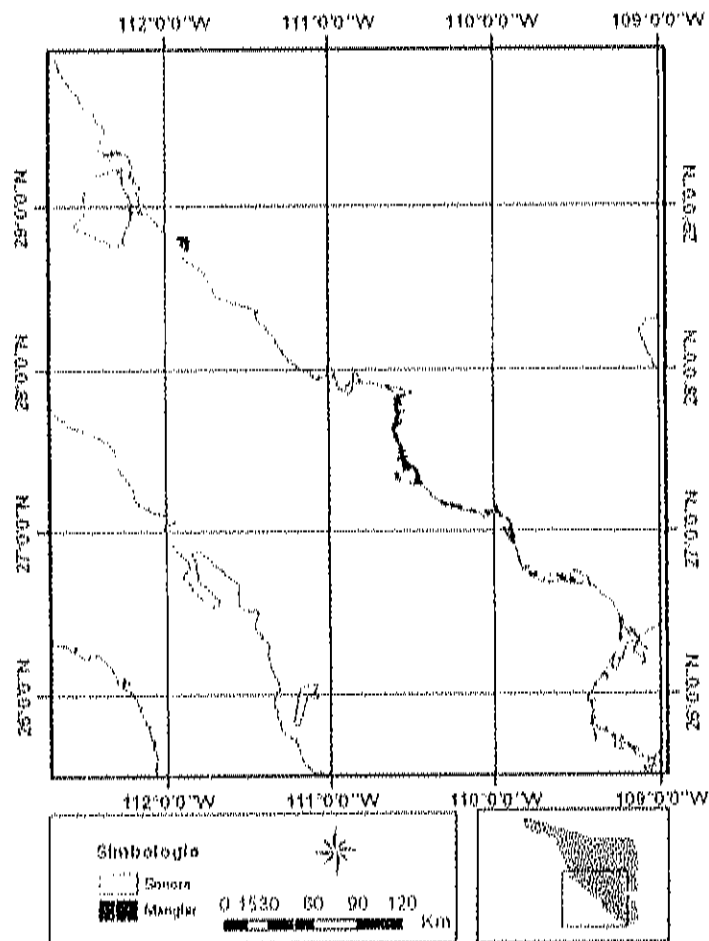


Figura 3. Distribución de manglar (polígonos negros) en Sonora. El recuadro gris al interior de la figura indica el área de distribución dentro del estado.

Los valores obtenidos para cada año y sistema se presentan a continuación, aunque en términos generales Sonora es el estado para el que en promedio se encontraron los valores más bajos de NDVI asociados al manglar. Para las estimaciones realizadas con las imágenes de 1973, los valores promedio no fueron superiores a 0.20, valor que fue superado en el resto de los sistemas lagunares y estuarinos evaluados en la región (Tabla 3). Aun cuando los valores promedio fueron bajos, se obtuvieron valores máximos muy cercanos a 0.60, a pesar de ubicarse en regiones áridas de clima muy cálido y seco, particularmente los manglares del estero del Sargento, que representan el límite norte de distribución del manglar en el continente americano.

Es importante resaltar que para el año 1973, la mayoría de los valores del NDVI obtuvieron valores muy próximos entre sí para todas las localidades de Sonora, tanto en los promedios como en su desviación estándar y en los valores máximos (Tabla 3).

Cuando se analizaron los datos generados para el siguiente período, la situación es diferente tanto en los promedios, como en los valores que definen la desviación estadística con respecto a este valor (desviación estándar y valor máximo), presentándose variantes que más que definir un gradiente latitudinal, señalan diferencias ambientales puntuales (Tabla 4).

Tabla 3. Valores promedio, desviación estándar (d.e.) y valor máximo del NDVI para los sistemas de manglar de Sonora (1973).

Sistema lagunar	NDVI		
	promedio	d.e.	máximo
Estero Sargento a Bahía Kino	0.16	0.10	0.59
Guásimas a Estero Lobos	0.13	0.07	0.49
Tobari	0.17	0.12	0.57
Huatabampito	0.14	0.09	0.43
Yavaros	0.15	0.10	0.42
Agiabampo	0.13	0.11	0.58

El valor promedio más bajo estimado para una localidad en Sonora y en general para la región correspondió al estero Tastiota en 2005. Este sistema no fue considerado para el

análisis correspondiente a la fecha de 1973, por no contar con una superficie suficiente para ser detectado por el sensor MSS como un componente particular del paisaje.

Tabla 4. Valores promedio, desviación estándar (d.e.) y valor máximo del NDVI para los sistemas de manglar de Sonora (2005).

Sistema lagunar	NDVI		
	promedio	d.e.	máximo
Estero Sargento a bahía Kino	0.28	0.12	0.76
Estero Tastiota	0.10	0.1	0.47
Guásimas a Estero Lobos	0.27	0.11	0.74
Tobari	0.28	0.12	0.72
Huatabampito	0.21	0.11	0.65
Yavaros	0.31	0.13	0.65
Agiabampo	0.25	0.12	0.54

Independientemente de este valor mínimo, los datos generados para el 2005 fueron nuevamente superiores a los equivalentes de 1973, en esta ocasión con una diferencia que en todos los casos fue mayor de 0.1. De los sistemas analizados para Sonora, Yavaros, al sur de la entidad, representó el sistema con mejores características en términos del valor promedio del NDVI y su variabilidad asociada.

Sinaloa. Por sus características geográficas, con abundancia de cuerpos de agua continentales y costeros, Sinaloa fue el único estado en el que el manglar se distribuye a todo lo largo de su zona litoral, de aproximadamente 650 km (Fig. 4).

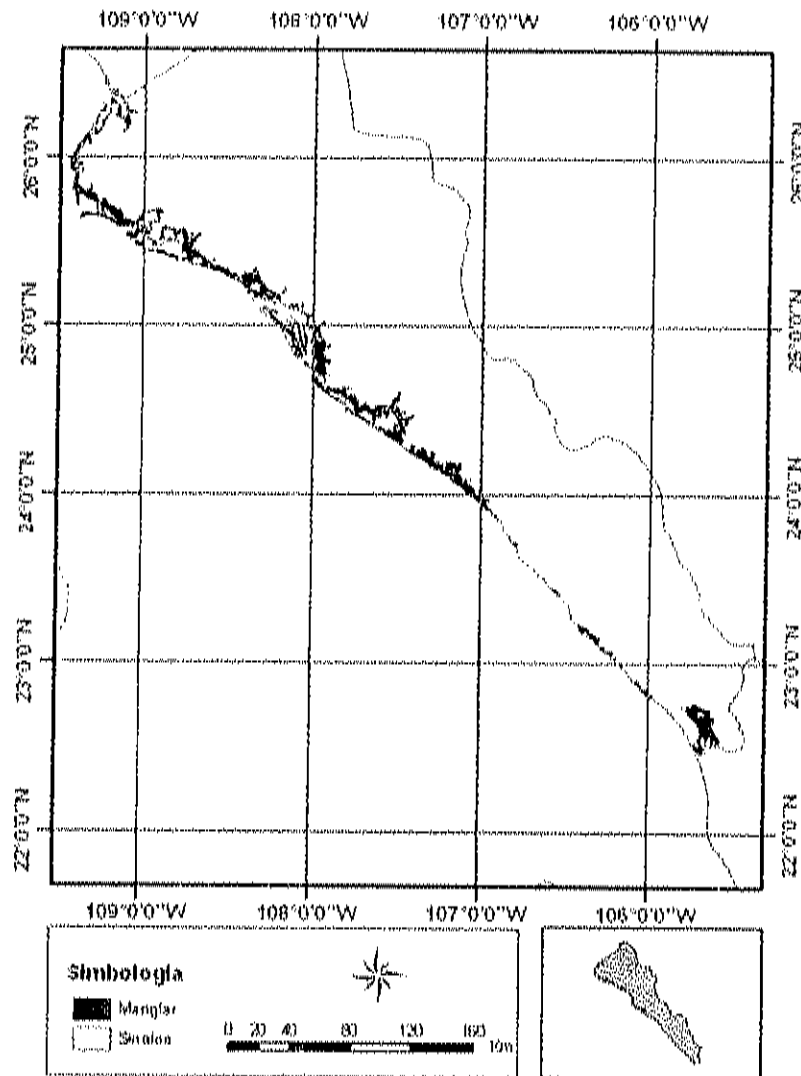


Figura 4. Distribución de manglar (polígonos negros) en Sinaloa.

Los sistemas de manglar de Sinaloa tienen extensiones considerables, desarrollándose al norte y centro de la entidad los sistemas más importantes en función de su extensión. Desde la bahía de Agiabampo, en el límite con Sonora, hasta el sistema lagunar Ohuira – Topolobampo se encuentra una importante extensión que, en conjunto, ocupa el segundo lugar en extensión de manglar en el estado. Hacia el sur, en el sistema San Ignacio – Navachiste – Macapule, también se encuentra un extenso sistema de manglar ubicado aproximadamente entre 25°47' y 25°18' de latitud norte.

Siguiendo el gradiente latitudinal norte – sur se encuentra uno de los sistemas lagunares más importantes del estado de Sinaloa conformado por Santa María - La Reforma, donde se ubica la mayor extensión de cobertura de manglar en Sinaloa. Al centro de la entidad se sitúan otros sistemas lagunares de importancia (Altata – Ensenada del Pabellón y Ceuta), donde también hay presencia importante de manglar.

También al sur de Sinaloa se distribuye esta comunidad vegetal en el estero el Verde, estero de Urías y el sistema Huizache-Caimanero, aunque de menor extensión, comparativamente con los sistemas del norte. Finalmente, en los límites con Nayarit se localiza una importante área con cobertura de manglar en el sistema lagunar Teacapán-Agua Grande.

Por lo que respecta a los valores del NDVI en 1973, se obtuvieron promedios relativamente elevados en distintos sistemas, independientemente de su ubicación en el litoral sinaloense. Los valores promedio más bajos se registraron para los sistemas del centro de Sinaloa, en bahía Ceuta y en Altata – Ensenada del Pabellón (Tabla 5).

Tabla 5. Valores promedio, desviación estándar (d.e.) y valor máximo del NDVI para los sistemas de manglar de Sinaloa (1973).

Sistema lagunar	NDVI		
	promedio	d.e.	máximo
Agiabampo – Ohuira – Topolobampo	0.35	0.12	0.70
San Ignacio – Navachiste	0.29	0.12	0.55
Santa María - La Reforma	0.34	0.12	0.68
Altata - Ensenada del Pabellón	0.25	0.09	0.56
Ceuta	0.21	0.10	0.72
El Verde - Urías-Huizache Caimanero	0.33	0.16	0.66
Teacapán - Agua Grande	0.32	0.16	0.64

Por lo que corresponde a los valores de este índice de vegetación obtenidos para la fecha correspondiente a 2005, no se presentó el incremento que de manera consistente se había observado en la evaluación del NDVI para los sistemas de BCS y Sonora y en algunos

casos, como en los sistemas de Agiabampo – Topolobampo y de Teacapán – Agua Grande, se manifestó inclusive una reducción (Tabla 6).

Tabla 6. Valores promedio, desviación estándar (d.e.) y valor máximo del NDVI para los sistemas de manglar de Sinaloa (2005).

Sistema lagunar	NDVI		
	promedio	d.e.	máximo
Agiabampo-Obuira-Topolobampo	0.29	0.14	0.71
San Ignacio – Navachiste	0.40	0.13	0.78
Santa María-La Reforma	0.43	0.13	0.79
Altata-Ensenada del Pabellón	0.44	0.13	0.80
Ceuta	0.39	0.15	0.75
El Verde-Urias-Huizache Caimanero	0.37	0.13	0.66
Teacapán-Agua Grande	0.27	0.13	0.71

Para esta fecha tampoco se mantuvo ningún tipo de orden que indicara cualquier tipo de gradiente, ya que fue precisamente en los extremos latitudinales donde se observaron los valores más bajos y en sistemas como Santa María y Altata, en el centro del estado, se presentaron los mayores valores promedio.

Nayarit. En este estado, el sistema de manglar se encuentra distribuido en prácticamente toda la costa del estado, si bien al sur sólo se presentan algunos parches aislados y es en el litoral que va del centro al norte del estado, donde se dan las mayores extensiones, partiendo del sistema localizado en proximidad con San Blas y posteriormente con el mayor sistema de manglar del Pacífico mexicano, conocido como Marismas Nacionales (Fig. 5)

Por presentar la mayor extensión de manglar en este último sistema, los valores del NDVI obtenidos para Marismas Nacionales son representativos para el estado en 1973, obteniendo valores prácticamente iguales a los que se obtuvieron a nivel estatal, con promedio de 0.34 y desviación estándar de 0.13. Asimismo el valor máximo dentro del estado fue el mismo que se detectó para Marismas Nacionales, de alrededor de 0.69

(Tabla 7). Los valores que se obtuvieron para el sur del estado, con media de 0.2 corresponden a áreas pequeñas y con manglares poco desarrollados.

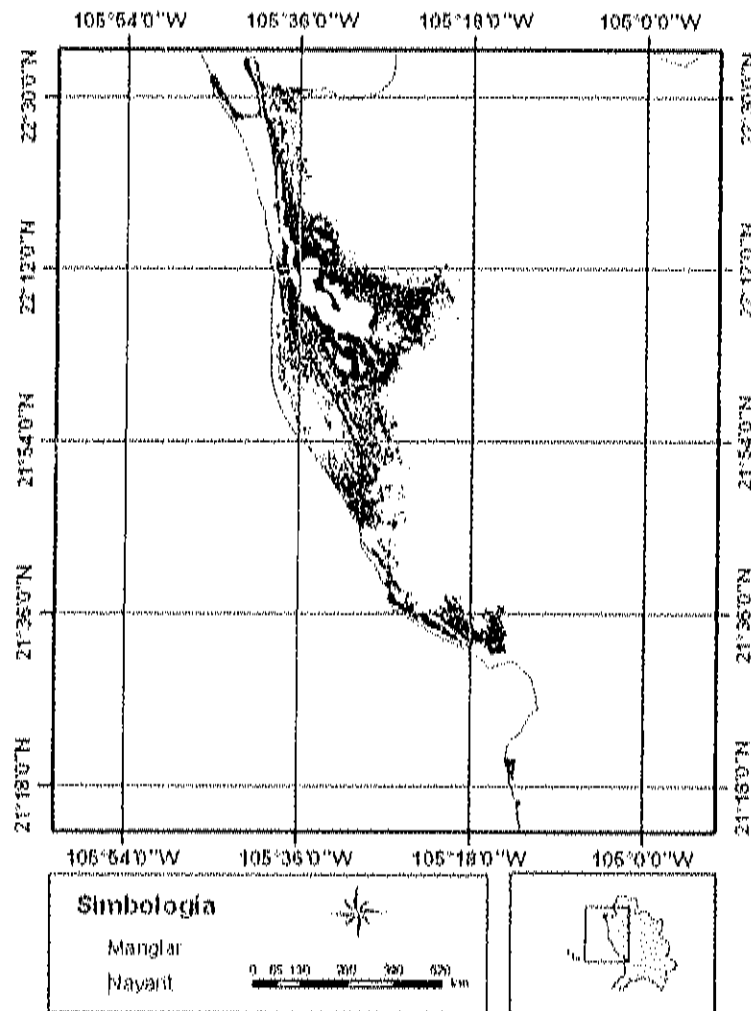


Figura 5. Distribución de manglar (polígonos negros) en Nayarit. El recuadro gris al interior de la figura indica el área de distribución dentro del estado.

En lo correspondiente al año 2005, los valores del NDVI se mantuvieron relativamente estables, con un promedio general de 0.37 (d.e. = 0.16) cuando se consideró toda el área de manglar, inclusive el clasificado como manglar muerto (2,324 ha), aumentando ligeramente su valor promedio cuando se excluyó al manglar muerto, pasando a 0.38 (d.e. = 0.15), con máximo de 0.75. En ambos casos las cifras fueron muy similares a las

evaluadas para el manglar de Marismas Nacionales. Los valores del NDVI para los sistemas de manglar considerados para Nayarit se presentan en la Tabla 8.

Tabla 7. Valores promedio, desviación estándar (d.e.) y valor máximo del NDVI para los sistemas de manglar de Nayarit (1973).

Sistema lagunar	NDVI		
	promedio	d.e.	Máximo
Marismas Nacionales	0.34	0.13	0.69
San Blas	0.34	0.11	0.62
Sur de Nayarit (Platanitos)	0.20	0.09	0.62

Tabla 8. Valores promedio, desviación estándar (d.e.) y valor máximo del NDVI para los sistemas de manglar de Nayarit (2005).

Sistema lagunar	NDVI		
	promedio	d.e.	Máximo
Marismas Nacionales con manglar muerto	0.37	0.16	0.76
Marismas Nacionales sin manglar muerto	0.38	0.15	0.76
San Blas	0.31	0.15	0.79
Sur de Nayarit (Platanitos)	0.32	0.11	0.62

Diagnóstico noroeste

La distribución del bosque de manglar en el noroeste de México presenta patrones muy similares para ambas fechas y concuerda en términos generales con lo reportado por algunos autores como Lot y Novelo (1990), Ramírez-García y Lot (1994) y Carrera y de la Fuente (2003). Cabe mencionar que en general la mayoría de los autores hacen escasa referencia a la distribución de esta cobertura, enfocándose en la extensión, por lo que trabajos como los de Ruiz-Luna y Berlanga-Robles (1999), Berlanga-Robles y Ruiz-Luna (2002), Acosta-Velázquez (2003), Alonso-Pérez *et al.* (2003), Ruiz-Luna *et al.* (2005) y Berlanga (2006), quienes analizaron los cambios tanto de distribución como de extensión del manglar y otras coberturas en diversas localidades del noroeste, son

importantes para estudios a nivel local. En ese sentido, con excepción del informe final del proyecto SEMARNAT-2002-C01-0044/A1 (trabajo no publicado), el presente trabajo constituye el primer intento de integración de variables de extensión y distribución para una región de la magnitud del noroeste, considerando además cambios en el tiempo.

Sobre el área de distribución, los límites superiores definidos en el presente estudio para ambos litorales se aproximan a la latitud 26°50' N, en la localidad conocida como Campo Rene, BCS, del lado del Pacífico y a 29°21' N, en el estero El Sargento, Son; dentro del golfo de California.

Blasco *et al.*, (1996) mencionan que las comunidades de manglar más extensas están fuertemente relacionadas con temperaturas del agua $> 24^{\circ}\text{C}$ en el mes más caluroso, por lo que en general se encuentran ausentes de sistemas costeros donde nunca el agua rebasa esa temperatura a través del año. Sobre este aspecto Lugo *et al.*, (1980) señalan que cuando las temperaturas descienden de ese valor medio y presentan fluctuaciones de más de 10°C , los árboles de *R. mangle* tienden a disminuir su complejidad estructural, viéndose impactada negativamente la densidad, altura y tamaño de hoja. En ese sentido, los manglares de Baja California Sur y Sonora son muy peculiares debido a las condiciones extremas en que se desarrollan, ya que se ubican en zonas áridas, con temperaturas extremas. Sin embargo durante la visitas a estos estados, en lo que corresponde al límite geográfico de distribución de este tipo de vegetación, se observó que la vegetación se encuentra en buena condición (obs. pers.). También resulta un rasgo importante el hecho de que el manglar se desarrolla en ausencia de fuentes de agua superficiales, lo cual hace más peculiar el estado actual de esta vegetación, ya que los manglares tienen su mejor desarrollo en zonas con precipitación pluvial alta (> 1500 mm), condiciones muy diferentes a las encontradas en la parte norte de la zona de estudio. Los bosques monoespecíficos de *A. germinans* son característicos de esta zona, por ser la especie de mayor adaptación a las características climáticas de la zona.

Dentro del noroeste de México se localiza Marismas Nacionales, que se conecta con otros sistemas al sur de Sinaloa formando el sistema Teacapán-Agua Brava-

Marismas Nacionales, descrito por Berlanga (2006) como el más extenso del Pacífico americano, localizado aproximadamente entre 21°45' N y 22°45' N. Además del sistema anterior, en el noroeste de México se presenta una franja con un importante desarrollo de manglar, entre las latitudes subtropicales de 24°17' N y 25°45' N, tanto en costas de Sinaloa como en el oeste de BCS.

En cuanto a la condición cualitativa de la vegetación, la cual fue medida mediante el NDVI, se observó que los valores promedio y los máximos resultaron más elevados en el 2005 exceptuando los promedios observados para los sistemas de Agiabampo-Ohuira-Topolobampo, Teacapán-Agua Grande y San Blas, donde los valores de NDVI disminuyeron marginalmente (<0.1) en el 2005.

En 1973 los valores promedio más altos de NDVI se observaron en el estado de Sinaloa, aunque es en este estado donde también se observó mayor variación (0.21-0.35) y, con excepción de Sonora, en los otros tres estados el valor promedio por estado se acerca a 0.3. Esta misma tendencia se mantuvo en 2005, siendo nuevamente en Sinaloa donde se observaron los mayores valores promedio a nivel regional con un intervalo amplio que va de 0.27 hasta 0.44. El valor promedio obtenido para Nayarit se aproximó bastante al de Sinaloa, pero a diferencia de este estado, la variación entre sistemas es poco significativa (0.07). Finalmente Sonora se presentó como el estado cuyos valores de NDVI fueron en general más bajos en ambos años. De acuerdo con Berlanga (2006), el manglar cuyas características corresponden a dosel cerrado presenta valores de NDVI mayores a 0.35. Si este valor se considera como un indicador de la salud de los sistemas de manglar, podemos inferir que la mayoría de los manglares del noroeste se encuentran en buen estado. De igual manera, Acosta-Velázquez y Ruiz Luna (en prensa) mencionan que, a pesar de que encontraron diferencias en la superficie ocupada por manglar en bahía Magdalena y en bahía Almejas, consideraron que los manglares en esa zona presentan un bajo impacto por las actividades antropogénicas, aunque los valores de NDVI sean los más bajos en este estudio, reflejan el tipo de dosel característico de estos climas. Por otra parte, Ruiz-Luna y Berlanga-Robles (1999) han sugerido que el sistema Huizache-Caimero se ubica en un paisaje altamente perturbado, lo mismo que la zona

del estero de Urías (Ruiz-Luna y Berlanga-Robles, 2003). Sin embargo, en el presente estudio en términos de cobertura de manglar, Urías no presenta cambios importantes y no se llevó a cabo un análisis individualizado del NDVI para Huizache-Caimanero, por lo que no se puede confirmar los resultados de los autores citados.

Los estudios realizados por Acosta (2003) y Berlanga-Robles (2006) en la zona de Teacapán-Agua Brava y Marismas Nacionales indican una disminución en los valores máximos y medios de NDVI, lo que no concuerda con lo obtenido en el presente estudio. Sin embargo estas diferencias podrían ser debidas al método de evaluación, ya que dichos autores no utilizaron los valores de NDVI para discriminar pixeles que no correspondían a cobertura vegetal y en el caso de Acosta (2003) solo evaluó fechas recientes (1990 y 2000), obteniendo resultados similares a los de este trabajo para 2005.

En el presente trabajo los resultados obtenidos no concuerdan con lo esperado, ya que parte de la argumentación planteada fué que la calidad de la vegetación, evaluada por medio de un indicador indirecto, ha disminuido a través del tiempo a consecuencia de los impactos antropogénicos. Este índice ayuda a determinar la densidad de vegetación sobre un terreno, mediante su respuesta a la luz roja e infrarroja del espectro electromagnético, siendo el NDVI un método efectivo para evaluar esas diferencias (Weir y Herring, 2007).

Otra desventaja encontrada en el presente trabajo, es la comparación de los resultados de imágenes provenientes de diferentes sensores. Los resultados de este análisis indicarían que ha aumentado la calidad de la vegetación, sin embargo esto puede ser causado por la diferencia de resolución espectral y espacial entre ambos sensores utilizados para este trabajo. Lo más aconsejable para comparar imágenes de distintas fechas es que estas sean evaluadas bajo un mismo sensor con las mismas características espectrales o realizar una estandarización del índice para poder realizar la comparación. Sin embargo, el NDVI sirvió para conocer cuales son las áreas de mejor y menor condición ambiental para cada año, lo cual contribuye con elementos técnicos para la propuesta de estrategias de manejo.

Estimación de la extensión de manglar

Con relación a la evaluación de la superficie con cobertura de manglar dentro del área de estudio, una vez que los datos de NDVI fueron depurados y convertidos a superficie se obtuvo una estimación de aproximadamente 173,958 ha para el año 1973. La aportación de cada estado, tanto en extensión como en proporción con respecto al total regional se presenta en la Tabla 9 y posteriormente se hace una revisión a nivel estatal y por año de estudio.

Tabla 9. Superficie de manglar estimada para los estados del noroeste de México en 1973. Cifras redondeadas a la centena más próximas

Estado	Superficie	%
Baja California Sur	24700	14
Sonora	9200	5
Sinaloa	62400	36
Nayarit	77600	45
TOTAL	173900	100

Para el año 2005 las cifras obtenidas en cuanto a la extensión total de manglar mostraron un cambio en su proporción, Sinaloa y Nayarit son los estados que presentan mayor superficie de manglar, con 39 % para ambos (Tabla 10).

Tabla 10. Superficie de manglar estimada para los estados del noroeste de México en 2005. Cifras redondeadas a la centena más próxima

Estado	Superficie	%
Baja California Sur	28700	16
Sonora	10100	6
Sinaloa	70200	39
Nayarit	68800	39
Total	177800	100

Al igual que en 1973, Sonora es el estado que tuvo la menor extensión, incrementando ligeramente su aporte a 6% del total registrado en la zona de estudio, siguiendo Baja California Sur, mostrando un aumento del 2% en superficie para 2005.

Baja California Sur. Para este estado el sistema de manglar de mayor importancia por su extensión y características estructurales es Bahía Magdalena (Ruiz-Luna *et al.*, 2005; Acosta-Velázquez y Ruiz-Luna, en prensa), el cual para el año de 1973 obtuvo una superficie estimada en poco menos de 21,195 ha, superficie superior a la estimada por Acosta-Velázquez y Ruiz-Luna (en prensa). Sin embargo, las diferencias de estos autores con el presente trabajo residen principalmente en el área seleccionada para el estudio, que no consideran la parte del norte de Boca la Soledad, en proximidad con el puerto Adolfo López Mateos.

La extensión de los manglares del centro-sur de BCS integrados por los sistemas bahía Almejas – bahía Magdalena – Boca La Soledad, representan aproximadamente el 86% del total evaluado para 1973. La otra zona donde existe una importante representación de manglar consta de aproximadamente 3550 ha y está integrada principalmente por bahía San Ignacio, a lo que se suma el estero la Bocana y bahía de Ballenas (Campo René) y Estero el Dátil al sur (Tabla 11).

Tabla 11. Superficie de manglar (ha) por sistema lagunar para el estado de Baja California Sur, 1973. Cifras redondeadas a la decena más próxima

Sistema lagunar	TOTAL
B. San Ignacio	3550
B. Magdalena	21200
Total	24700

La resolución de las imágenes Landsat MSS correspondientes a este año no permitió evaluar la extensión de la cobertura de manglar en la Bahía de La Paz, lo que no implica que no haya existido cobertura de manglar en ese año.

Para la fecha siguiente y dada la mejor resolución espacial de Landsat TM, se detectaron áreas no consideradas en la imagen de 1973. La superficie total se incrementó en aproximadamente 4000 ha con respecto a la imagen anterior, atribuyéndose este hecho al factor anterior.

La proporción del manglar localizado en el centro-sur de BCS, asociado con bahía Magdalena - bahía Almejas, cubrió cerca del 82% del total, mientras que los sistemas asociados a bahía San Ignacio aportaron el 17% y sólo el 1% del manglar evaluado para BCS en 2005, correspondió al manglar localizado en costas del golfo de California, incluidas las islas, pero primordialmente en La Paz (Tabla 12).

Tabla 12. Superficie de manglar (ha) por sistema lagunar para el estado de Baja California Sur, 2005. Cifras redondeadas a la decena más próxima

Sistema lagunar	TOTAL
B. San Ignacio	4800
B. Magdalena	23700
La Paz	200
Total	28700

Con respecto al sistema lagunar bahía Magdalena - Almejas, Acosta-Velázquez y Ruiz-Luna (en prensa) indicaron que contiene el 75% de la cobertura de manglar evaluada para el 2005 en el estado, sin embargo para el presente estudio representa el 82% de la superficie total estimada, debido sobre todo a la diferencia de áreas contempladas en ambos estudios.

Considerando también la superficie de manglar a nivel estatal, Ruiz-Luna y colaboradores (2004) obtuvieron una cobertura total de poco más de 24,000 ha, con imágenes ETM+ del 2000 al 2001 y dado que la resolución espacial es semejante, se asume que las diferencias son atribuibles a la técnica de clasificación, más que a variaciones reales de la cobertura.

Sonora. Para este estado se obtuvo la menor extensión de manglar, con poco menos de 9200 ha, que representaron 5% del total del noroeste de México estimado para el año 1973. En este estado se presentaron numerosas localidades con manglar, la mayoría de pequeña extensión, siendo la correspondiente al sistema estero Lobos, en la parte central del estado, donde se concentra la mayor extensión de este recurso. Siguiendo la división que a nivel de estado se aplicó para conocer la distribución de los valores del NDVI, se presenta en la Tabla 13 la extensión de manglar en Sonora, en 1973. Como se mencionó anteriormente, los sistemas próximos a estero Lobos son los que en conjunto presentan mayor extensión, mientras que al sur, pese a cubrir áreas importantes representan apenas una proporción de aproximadamente el 15% del total estatal.

Tabla 13. Superficie de manglar (ha) por sistema lagunar para el estado de Sonora, 1973. Cifras redondeadas a la decena más próxima

Sistema Lagunar	TOTAL
Estero Sargento a bahía Kino	1540
Guásimas a Estero Lobos	4000
Toburí	2250
Huatabampito	360
Yavaros	360
Agiabampo	670
Total	9180

Para la estimación correspondiente al año 2005, se presentó una ligera variación de la proporción que representa el manglar de Sonora con respecto al total regional, pasando de 5% a 6%, observándose además algunas variaciones a nivel local, que representan un aumento en la mayoría de los casos. Esto permitió un incremento en el total de aproximadamente 1000 ha, pero disminuyó la superficie en Tobarí y Agiabampo, al sur del Estado (Tabla 14).

Es importante mencionar que debido a la corroboración realizada en campo, se infiere que el manglar en Sonora ha sido sub-estimado, debido a que se encontraron numerosos

parques aislados y de pequeño tamaño que no son adecuadamente diferenciables por el sensor satelital.

Tabla 14. Superficie de manglar (ha) por sistema lagunar para el estado de Sonora, 2005. Cifras redondeadas a la decena más próxima

Sistema Lagunar	TOTAL
Estero Sargento a bahía Kino	1720
Estero Tastiota	10
Guásimas a Estero Lobos	5050
Tobari	1978
Huatabampito	434
Yavaros	664
Agíabampo	222
Total	10100

Sinaloa. Por su extensión, este estado se situó en 1973 como el segundo lugar en cuanto a cobertura de manglar en el noroeste, después de Nayarit. La mayor cobertura se encuentra en la porción centro - norte del estado, donde el sistema lagunar que contó con la mayor extensión en 1973 fue Santa María – La Reforma, mientras que el área entre el estero El Verde y el sistema lagunar Huizache-Calmanero fue la que menor superficie de manglar presentó (Tabla 15).

La clasificación de manglar obtenida para este estado con imágenes de 2005 indica que ocupó el primer lugar en cuanto a extensión, superando a Nayarit aunque solo por 1,370 ha, el 39% de la cobertura se encuentra distribuida en este Estado. La mayor cobertura se concentra en la parte norte y centro del estado, en donde el sistema lagunar Santa María - La Reforma es el que cuenta con la mayor extensión de manglar, mientras que otros tres sistemas de este estado superaron las 10,000 ha de cobertura de mangle (Tabla 16).

Tabla 15. Superficie de manglar (ha) por sistema lagunar para el estado de Sinaloa, 1973. Cifras redondeadas a la decena más próxima

Sistema Lagunar	Total
Ohuira-Topolobampo	12700
Navachiste	9400
Santa María-La Reforma	15720
Alt-Ensenada-Pabellones	11550
Ceuta	4750
El Verde-Urias-Huizache Caimanero	1520
Teacapán-Agua Grande	6750
Total	62390

Tabla 16. Superficie de manglar (ha) por sistema lagunar para el estado de Sinaloa, 2005. Cifras redondeadas a la decena más próxima

Sistema Lagunar	Total
Ohuira-Topolobampo	12050
Navachiste	10170
Santa María-La Reforma	18450
Alt-Ensenada-Pabellones	10620
Ceuta	7360
El Verde-Urias-Huizache Caimanero	1940
Teacapán-Agua Grande	9600
Total	70190

Nayarit. Este estado integró la mayor extensión de manglar del noroeste de México en 1973, 45% del total regional. En este estado se encuentra el área denominada Marismas Nacionales, donde existe un complejo de lagunas de aguas salobres de gran extensión, propicio para el desarrollo de manglar. Este sistema de humedales está asociado con Teacapán y Agua Grande en Sinaloa, sistemas que en conjunto con la parte correspondiente de Marismas Nacionales en Nayarit, tuvieron en 1973 una extensión de

aproximadamente 90,000 ha, de acuerdo con Berlanga (2006). Los resultados obtenidos en el presente estudio se indican en la Tabla 17.

Tabla 17. Superficie de manglar (ha) por sistema lagunar para el estado de Nayarit, 1973. Cifras redondeadas a la decena más próxima

Sistema lagunar	Total
Marismas Nacionales	67170
San Blas	9250
Sur de Nayarit (Platanitos)	1210
Total	77630

Con relación a la estimación de esta cubierta en el año 2005, Nayarit es el único estado en el que de manera evidente hay pérdida de superficie. Pasó de ocupar el primer sitio en cuanto a extensión, al segundo lugar, con un área estimada en aproximadamente 66,500 ha de manglar. Esto representa una pérdida directa equivalente a casi 9000 ha en un periodo de 32 años, afectando por igual a todos los sistemas, aunque es Marismas Nacionales el sistema más perturbado, si bien se mantiene como el de mayor extensión (Tabla 18).

Tabla 18. Superficie de manglar (ha) por sistema lagunar para el estado de Nayarit, 2005. Se incluye la superficie de manglar muerto detectado para todo el estado. Cifras redondeadas a la decena más próxima

Sistema lagunar	Total
Marismas Nacionales	58120
San Blas	7720
Sur de Nayarit (Platanitos)	650
Manglar muerto	2320
Total	68810

Considerando la tendencia que se manifestó en los otros estados, es probable que la magnitud de la pérdida sea mayor, sin embargo no hay elementos para definir en que

proporción pudiera ser esta desviación. Cabe mencionar que para el año 2000, Acosta (2003) y Berlanga (2006) señalan pérdidas considerables en la cobertura de manglar del sistema Teacapán – Agua Brava – Marismas Nacionales con respecto a 1990. En ambos estudios la proporción de pérdida es similar, de aproximadamente el 10% entre ambas fechas. Esta proporción es la misma que se observa en el presente estudio, sin embargo, sólo contempla dos fechas, con diferencia de más de 30 años.

En términos generales y con base en los resultados del análisis de imágenes de satélite, la extensión de los sistemas de manglar en el noroeste de México muestran una diferencia de aproximadamente 4000 ha, que representa aproximadamente el 2% del total evaluado en ambas fechas, por lo cual podría considerarse que se ha mantenido estable esta cobertura. Sin embargo una vez que se incrementa el nivel de resolución del análisis, los cambios son más evidentes y de esta manera entre las dos fechas analizadas se observan ganancias en los estados de Baja California Sur, Sinaloa y Sonora, y una diferencia negativa para Nayarit (Tabla 19).

Tabla 19. Variación de la superficie de manglar estimada para los estados del noroeste de México en 1973 y 2005 Cifras redondeadas a la centena más próxima

Estado	1973	2005	Diferencia	% de cambio
Baja California Sur	24700	28700	4000	16
Sonora	9200	10100	900	4
Sinaloa	62400	70200	5700	32
Nayarit	77600	68800	-8800	-36
Total	173900	177800	3900	16

La aparente ganancia en la superficie de manglar no se debe estrictamente a una recuperación, siendo más probable que el aumento sea consecuencia de una mejor resolución espacial del sensor TM. Considerando lo anterior es probable que la pérdida determinada para Nayarit, pueda ser mayor que la estimada, de aproximadamente 9000 ha

Los resultados para la fecha reciente concuerdan en términos generales con lo reportado para sistemas específicos por otros autores tales como Ramírez (2006), Carrera y de la Fuente (2003).

Distribución y extensión por tipos de manglar

Con base en los valores estimados del NDVI para cada estado, se determinó la superficie y distribución espacial y temporal de la cobertura de manglar, categorizada en cuatro tipos de manglar, donde cada tipo pertenece a un cuartil, y cada cuartil representa la calidad de la vegetación, estimada por los valores de brillantez de la imagen. donde el tipo 1 y 2, indican un tipo de vegetación con dosel abierto, representado por vegetación con menor calidad vegetal, mientras que la vegetación de tipo 3 y 4, indica un tipo de vegetación de dosel cerrado, lo cual representa a cobertura en mejores condiciones .

La determinación de los intervalos de clase se realizó el método de cuartiles, utilizando el rango mas amplio de los valores de NDVI para cada sensor, es por eso que los intervalos entre ambos años varían. El primer intervalo estimado para cada año varía debido a que se le asignó el valor mínimo que se encontraron representa vegetación en cada año, así el menor valor registrado en 1973 es de 0.03, y en el 2005 es de 0.07. El resto de los intervalos de clase determinado para cada sensor se mantuvo igual para las clases restantes.

Conforme a esta jerarquización, los valores de NDVI del manglar Tipo 4, se asocian con las mayores concentraciones de clorofila y con alta cantidad de pared celular de las células vegetales, lo que implica biomasa elevada y por lo tanto, es el grupo con mejor condición vegetal. Este tipo puede ser asociado con el estrato arbóreo de dosel cerrado (Ruiz-Luna *et al*; 2004; Berlanga, 2006; Monzalvo, 2006). Con la misma lógica, el manglar de Tipo 1 resultaría el de menor condición o vigor vegetal asociado con el estrato arbustivo o con escasa densidad tanto de individuos como de follaje. Los dos tipos restantes corresponderían a situaciones intermedias.

Los resultados para la fecha reciente concuerdan en términos generales con lo reportado para sistemas específicos por otros autores tales como Ramírez (2006), Carrera y de la Fuente (2003).

Distribución y extensión por tipos de manglar

Con base en los valores estimados del NDVI para cada estado, se determinó la superficie y distribución espacial y temporal de la cobertura de manglar, categorizada en cuatro tipos de manglar, donde cada tipo pertenece a un cuartil, y cada cuartil representa la calidad de la vegetación, estimada por los valores de brillantez de la imagen. donde el tipo 1 y 2, indican un tipo de vegetación con dosel abierto, representado por vegetación con menor calidad vegetal, mientras que la vegetación de tipo 3 y 4, indica un tipo de vegetación de dosel cerrado, lo cual representa a cobertura en mejores condiciones .

La determinación de los intervalos de clase se realizó el método de cuartiles, utilizando el rango mas amplio de los valores de NDVI para cada sensor, es por eso que los intervalos entre ambos años varían, El primer intervalo estimado para cada año varía debido a que se le asignó el valor mínimo que se encontraron representa vegetación en cada año, así el menor valor registrado en 1973 es de 0.03, y en el 2005 es de 0.07. El resto de los intervalos de clase determinado para cada sensor se mantuvo igual para las clases restantes.

Conforme a esta jerarquización, los valores de NDVI del manglar Tipo 4, se asocian con las mayores concentraciones de clorofila y con alta cantidad de pared celular de las células vegetales, lo que implica biomasa elevada y por lo tanto, es el grupo con mejor condición vegetal. Este tipo puede ser asociado con el estrato arbóreo de dosel cerrado (Ruiz-Luna *et al*; 2004; Berlanga, 2006; Monzalvo, 2006). Con la misma lógica, el manglar de Tipo 1 resultaría el de menor condición o vigor vegetal asociado con el estrato arbustivo o con escasa densidad tanto de individuos como de follaje. Los dos tipos restantes corresponderían a situaciones intermedias.

Tabla 20. Definición de los intervalos para los Tipos de manglar

MSS		
Tipo	NDVI mín	NDVI max
1	0.03	0.173
2	0.173	0.346
3	0.346	0.519
4	0.519	0.700
TM		
1	0.070	0.198
2	0.198	0.396
3	0.396	0.593
4	0.593	0.791

Bajo ese contexto, para 1973 se determinó que la mayor proporción de la cobertura en la región correspondía a manglares de Tipo 2 y 3. Entre ambas coberturas se conjuntó una extensión de aproximadamente 138,000 ha, equivalente al 80% del total a nivel regional (Tabla 21).

Tabla 21. Superficie (ha) y proporción (%) de Tipos de manglar en los estados del noroeste de México en 1973.

Estado	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	TOTAL
Baja California Sur	4989	11228	8193	339	24749
Sonora	5992	2843	344	12	9192
Sinaloa	10242	28530	20882	2735	62389
Nayarit	7066	22919	43079	4565	77629
TOTAL	28289	65520	72497	7652	173958
%	16	38	42	4	100

En los Estados de Sinaloa y Nayarit es donde se observó la mayor proporción de manglar con valores altos de NDVI correspondientes al tipo 3 y 4, situación comprensible debido a que en estos estados las características ambientales son las más

apropiadas para el crecimiento de este tipo de vegetación, aunque el tipo 4 solo equivale al 4% de la vegetación en Sinaloa y el 6% en Nayarit. Sin embargo, a pesar de que existe cierta similitud en cuanto a condiciones ambientales entre BCS y Sonora, sólo en este último estado se observó predominancia de tipos de manglar asociados con valores bajos del NDVI (95%)(Fig. 6).

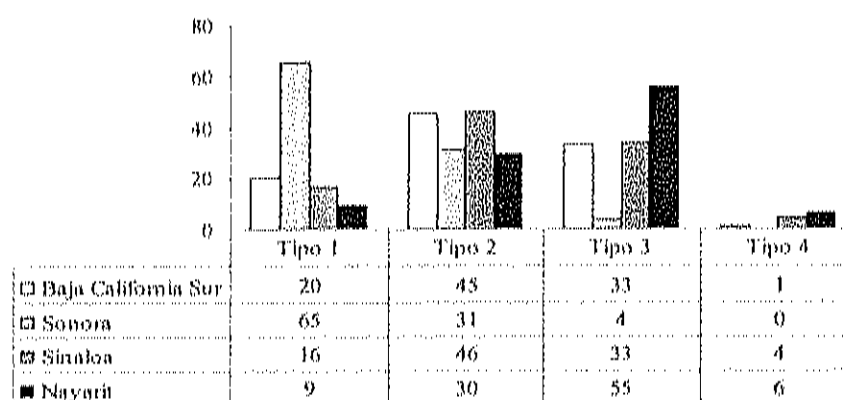


Figura 6. Proporción (%) de Tipos de manglar en los estados del noroeste de México en 1973, con el Tipo 1 como manglares de menor condición vegetal y el Tipo 4 como manglares de la mejor condición vegetal.

Para el año 2005 la situación general se mantuvo en cuanto a la distribución general de los tipos de manglar, con los Tipos 2 y 3 como los que mayormente contribuyen, sin embargo para esta fecha se incrementó la superficie que es aparentemente ocupada por estas coberturas, alcanzando una proporción mayor del 80% con respecto al total regional, y también se observa un incremento en el porcentaje del manglar Tipo 4 (Tabla 22).

Para esta fecha se notan diferencias con respecto a la distribución encontrada para 1973, con una reducción de la proporción del Tipo 1, que se traduce en incremento de la proporción de otros tipos de manglar como el Tipo 2 o el 4 (Fig. 7). Al igual que en 1973, Sinaloa y Nayarit son los que aportan la mayor proporción del manglar Tipo 4 en 2005.

Tabla 22. Superficie (ha) y proporción (%) de Tipos de manglar en los estados del noroeste de México en 2005. * En el total de Nayarit se incluye 2324 ha de manglar muerto.

Estado	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	TOTAL
Baja California Sur	3621	12909	11689	470	28688
Sonora	2267	6402	1377	26	10071
Sinaloa	6744	24431	33705	5306	70187
Nayarit	8709	25505	27827	4446	68811
TOTAL	21342	69246	74598	10247	177757
%	12	39	42	6	100

En cualquier caso, no se manifiesta en ninguna de las fechas analizadas una tendencia específica sobre la distribución de los tipos, con relación al gradiente latitudinal y tampoco es generalizada con respecto al tiempo. Algunos casos se hicieron aparentes en el análisis por sistema, que se presenta a continuación.

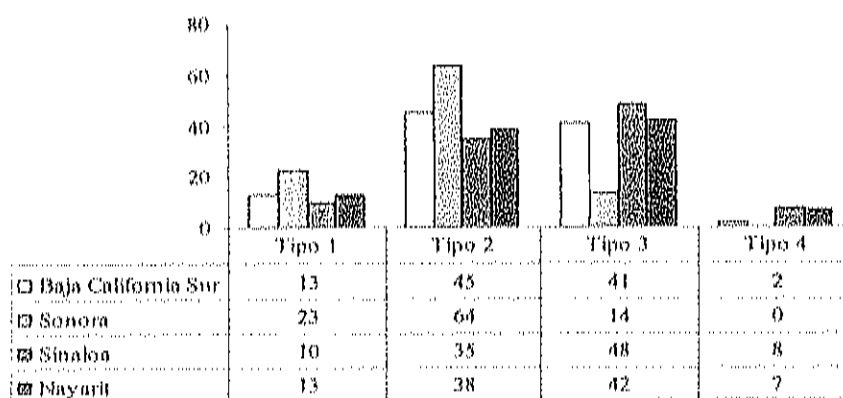


Figura 7. Proporción (%) de Tipos de manglar en los estados del noroeste de México en 2005, con el Tipo 1 como manglares de menor condición vegetal y el Tipo 4 como manglares de la mejor condición vegetal.

Baja California. Para este estado predominó el manglar de Tipo 2 en la fecha correspondiente a 1973 (Fig. 8). Del total estimado, 11,228 ha (45%) correspondieron a este Tipo, siguiendo en proporción el mangle Tipo 3. Este patrón se manifestó de igual manera en las dos áreas consideradas para este estado en 1973.

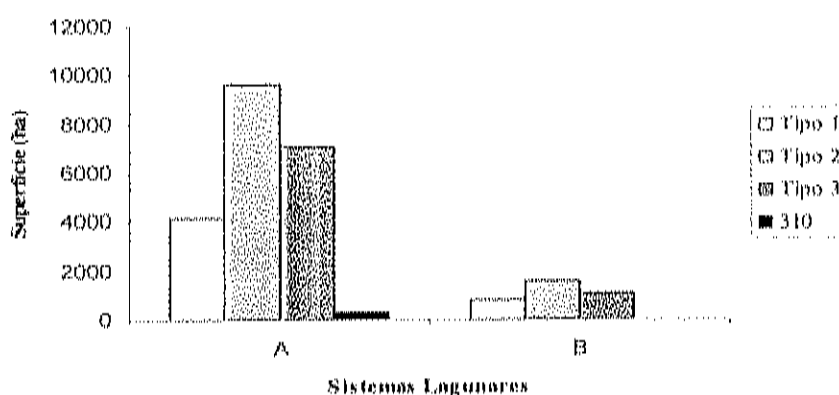


Figura 8. Tipos fisonómicos de manglar en sistemas lagunares de Baja California Sur, 1973. (A) Bahía Magdalena, (B) Bahía San Ignacio.

Para la fecha más reciente, la relación se mantuvo más o menos constante, donde los tipos 1 y 4 representaban los valores mínimos en la distribución. Para el 2005 el manglar Tipo 2 fue el de mayor extensión en todo el estado (Fig. 9), sin embargo dado que Bahía Magdalena es el sistema lagunar de mayor importancia en el estado, y el mayor porcentaje de su cobertura se encuentra en valores del tipo 3 ésta es representativa para la mayor parte del estado.

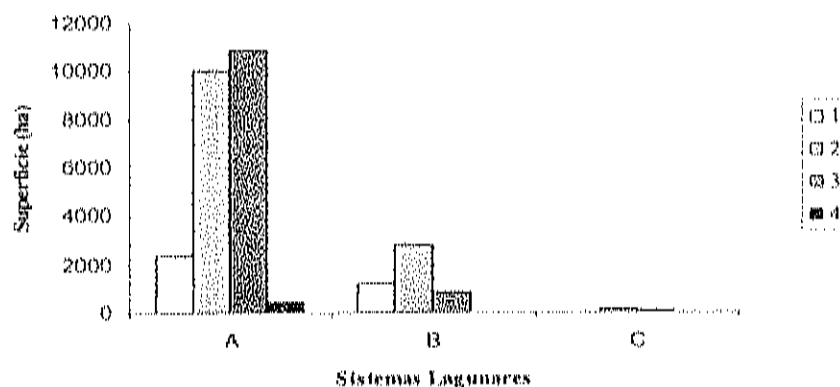


Figura 9. Tipos fisonómicos de manglar en sistemas lagunares de Baja California Sur, 2005. (A) bahía Magdalena, (B) bahía San Ignacio, (C) La Paz.

Sonora. En este estado aproximadamente el 65% de la cobertura de manglar correspondió a manglar del Tipo 1, con 5992 ha. De igual manera su presencia fue predominante en todos los sistemas (Fig. 10).

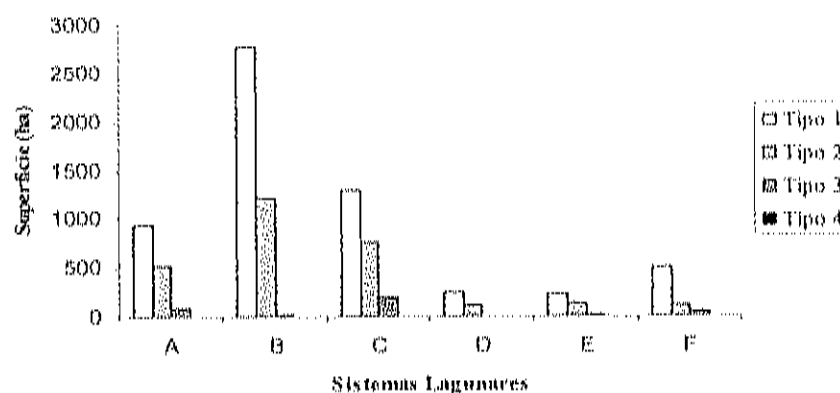


Fig. 10. Tipos fisonómicos de manglar en Sonora, 1973. (A) Sargento-Bahía Kino, (B) De Guásimas a estero Lobos, (C) Tobaci, (D) Huatabampito, (E) Yavaros, (F) Agiabampo.

Los tipos 3 y 4 tuvieron una presencia muy limitada y localizada, en todos los sistemas lagunares correspondientes a este estado. A diferencia de lo anterior, en el 2005 el

manglar con mayor proporción fue el Tipo 2, que prevalece principalmente en todos los sistemas del estado (Fig 11).

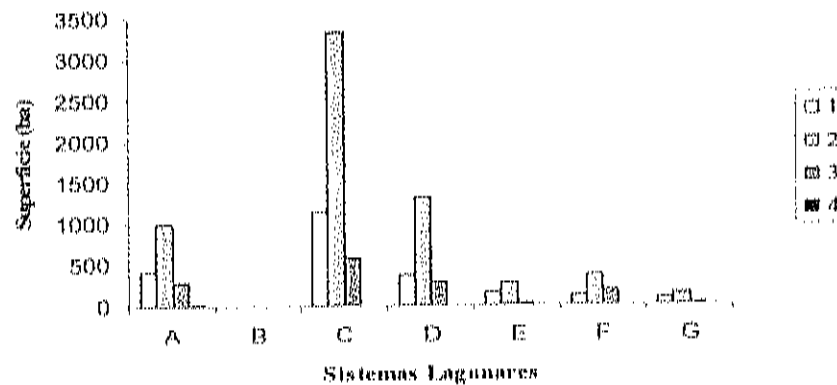


Figura 11. Tipos fisonómicos de manglar en Sonora, 2005. (A) Sargento-Bahía Kino, (B) estero Tastiota, (C) De Guásimas a estero Lobos, (D) Tobari, (E) Huatabampito, (F) Yavaros, (G) Agiabampo.

Al igual que en 1973, los valores de NDVI para el estado de Sonora son los más bajos de todo el noroeste, sin en la imagen de 2005 se observa un ligero aumento en el porcentaje de manglar Tipo 2 y 3, este resultado parece más lógico una vez que los sitios que fueron visitados en el estado con fines de validación de las clasificaciones presentaron con frecuencia zonas con manglar de baja altura (< 3 m) pero en buen estado de conservación y con follaje denso (Fig. 12).

De cualquier manera es probable que en algunos sitios estos valores puedan ser indicadores de que la cobertura de manglar está siendo impactada, debido a la falta de planeación de algunas actividades antropogénicas, particularmente por el incremento de infraestructura camaronícola a lo largo de la costa, aunado a las actividades agrícolas e industriales (Carrera y de la Fuente, 2003), además de tratarse de una zona que limita la distribución de los manglares, a lo que podría atribuirse la disminución de la cobertura y la baja condición de los manglares.



Figura 12. Ecosistema de manglar en Yavaros, Sonora

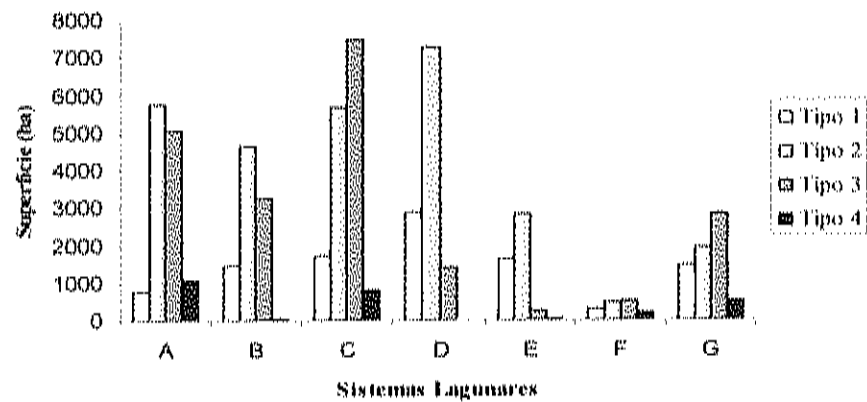


Figura 13. Tipos fisonómicos de manglar en el estado de Sinaloa, 1973. (A) Ohuira-Topolobampo, (B) Navachiste, (C) Santa María-La Reforma, (D) Ahata-Ensenada Pabellones, (E) Ceuta, (F) El Verde-Urtas-Huilzache Caimanero, (G) Teacapán-Agua Grande.

Sinaloa Para este estado el mayor porcentaje de la vegetación de manglar (46%) correspondió a manglar de Tipo 2 durante 1973, distribuyéndose este tipo de manglar en todos los sistemas del estado, aunque en la parte central en Santa María-La Reforma y al sur del estado se encontró la mayor proporción de manglar Tipo 3 para este año (Fig. 13).

Para la clasificación de 2005, los manglares de Sinaloa se caracterizaron por la dominancia del manglar Tipo 3 en todos los sistemas del norte y centro del estado. En la parte sur, en el estero del Verde, Uriás y Huizache Caimanero, así como el sistema Teacapán – Agua Grande el manglar de mayor abundancia es el de Tipo 2 (Fig. 14).

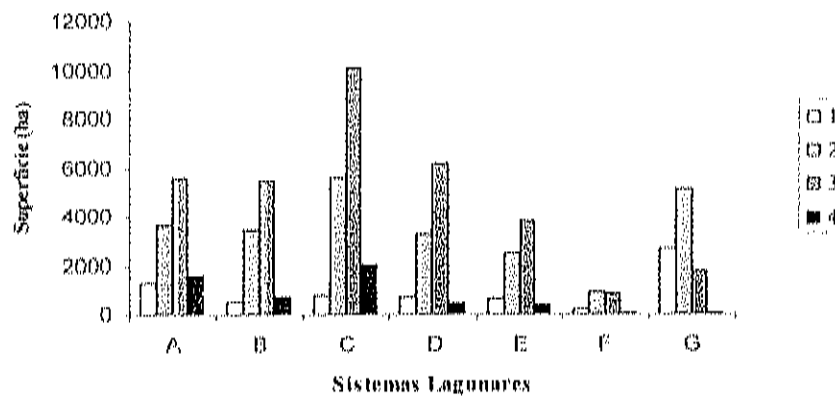


Figura 14. Tipos fisonómicos de manglar en el estado de Sinaloa, 2005. (A) Oluíra-Topolobampo, (B) Navachiste, (C) Santa María-La Reforma, (D) Altata – Ensenada Pabellones, (E) Ceuta, (F) El Verde-Uriás-Huizache-Caimanero, (G) Teacapán-Agua Grande.

Nayarit. Por último, en el estado de Nayarit donde se contabilizó un total aproximado de 77,629 ha, el 55 % corresponde a manglares de Tipo 3, representados en todos los sistemas analizados (Fig. 15).

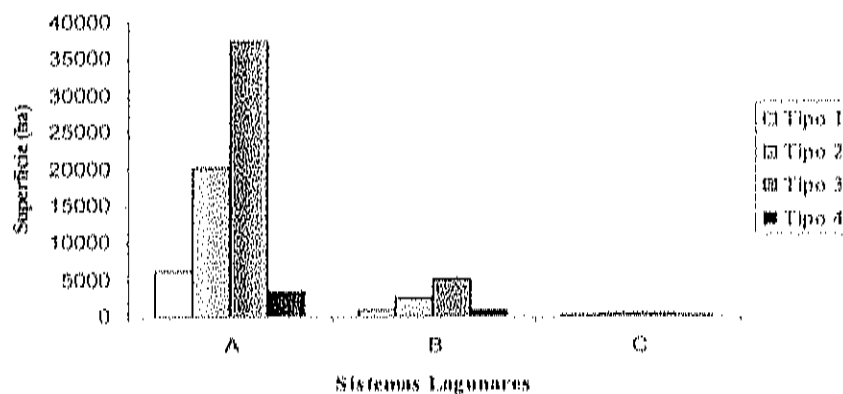


Figura 15. Tipos fisonómicos de manglar en Nayarit, 1973. (A) Marismas Nacionales, (B) San Blas, (C) Sur de Nayarit.

Al igual que en 1973, estos sistemas tienen una mayor cobertura de manglar de Tipo 4, sin embargo, se observa un ligero aumento de cobertura de valores más bajos, la zona de San Blas, y la parte sur del estado para este año tienen una mayor proporción de manglar

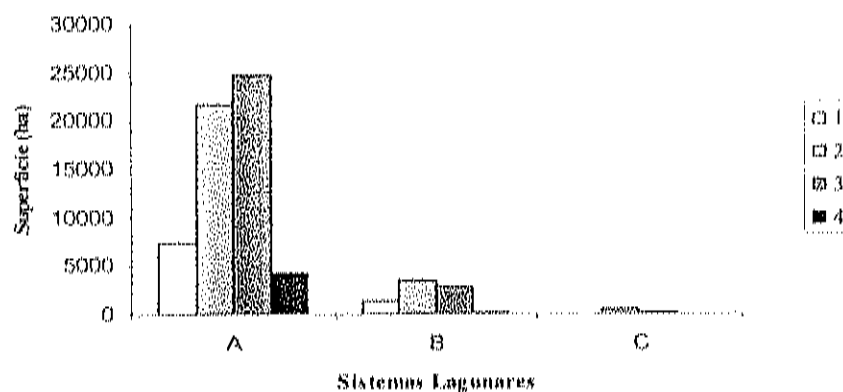


Figura 16. Tipos fisonómicos de manglar en el estado de Nayarit, 2005. (A) Marismas Nacionales, (B) San Blas, (C) Sur de Nayarit.

Tipo 2 (Fig. 16), es también notoria la presencia de manglar muerto, que corresponde a 2,324 ha de manglar, y que ha sido incluida como parte del total de la superficie estimada para este estado.

Un resultado importante del presente trabajo es que en ambas fechas de estudio el manglar Tipo 3 es el de mayor proporción (42%), el manglar comprendido en este tipo corresponde a características de dosel cerrado, esto se asocia con la vegetación en buena condición, aunque el manglar de condiciones óptimas solo abarca de 4 a 5% en los respectivos años. Además de observarse un incremento de la vegetación en los Tipos 2 y 4 en el 2005. Asumiendo que el análisis es correcto, el resultado puede ser indicador de que la cobertura no se encuentra en situación crítica de degradación o deterioro. Sin embargo el manglar Tipo 1 y 2, uniendo ambas categorías, éstas tienen un mayor porcentaje en ambos años, lo cual indica que existe una fuerte proporción de manglar en pobre condición vegetal.

Aunque para 1973 se obtiene una mayor proporción de cobertura de manglar del Tipo 3 con respecto al total, cuando se analizan los estados por separado y por sistemas lagunares se observa que este tipo de manglar está asociado principalmente a Nayarit, predominando el manglar de Tipo 2 en el resto del noroeste exceptuando Sonora, donde el mayor porcentaje corresponde a manglar Tipo 1. Para la etapa siguiente el análisis del 2005 se muestra que en Baja California Sur y Sonora, la mayor superficie es de manglar Tipo 2 y Sinaloa y Nayarit del Tipo 3.

Lo anterior parece ser el resultado de la diferente resolución de los sensores que se utilizaron para el análisis, tanto a nivel espectral como espacial, ya que el sensor MSS tiene una resolución menor (60 m) que el TM (30 m), por ello es sensible a que la presencia de áreas desnudas o con escasa vegetación en zonas de manglar puedan afectar el nivel promedio de brillantez y por ello, además de no incluir parches pequeños de vegetación subestimando la superficie, puede disminuir los valores estimados del NDVI.

Aunque no se puede descartar que existan zonas donde ha habido una mejoría en la calidad de manglar, incluso con colonización de superficie, los resultados obtenidos no necesariamente indican que la calidad de la vegetación se ha incrementado a través

del tiempo y que en 1973 la vegetación tenía un grado mayor de deterioro. Se considera que las mejoras en tecnología han permitido un mejor análisis e interpretación de los datos de fecha reciente, por lo que es posible una subestimación del manglar en 1973 debido a la falta de mayor resolución espacial. De la misma manera, las diferencias de resolución espectral pueden tener un efecto sobre la evaluación, ya que aunque similares, la resolución de las bandas utilizadas para determinar los valores de NDVI es ligeramente mejor en el sensor TM. La banda 2 de MSS, equivalente a la 3 de TM, incluye longitudes de onda de 0.6 a 0.7 μm (píxel = 80 m), mientras que el rojo en TM es de 0.63 a 0.69 μm (píxel = 30m). Esta pequeña diferencia, aunada a una mejor resolución espacial permite una mejor diferenciación de los grupos vegetales con la imagen TM.

Análisis de fragmentación

A diferencia de los análisis anteriores, el presente apartado se realizó considerando sólo algunos de los principales sistemas en donde fue posible llevar a cabo la comparación entre fechas. Cabe mencionar que las imágenes fueron ajustadas y corregidas geométricamente para contar con la misma resolución con la finalidad de estandarizar las estimaciones de los índices. Los valores de las métricas de paisaje estimadas para ambos años de estudio reflejan en general un incremento en el número de fragmentos para el año 2005, aunque en el contexto metodológico esto no necesariamente refleja fragmentación, debido a que las diferencias en resolución de las imágenes ocasionó que, la corrección geométrica generara división al interior de los píxeles, lo cual no necesariamente implica división del paisaje. En ese sentido, aunque los valores del índice de forma y del índice perímetro área fractal (PAF) variaron en algunas zonas, no presentaron cambios importantes. En cuanto a los índices que analizan la agregación de los parches, los valores observados del índice de contagio no cambiaron, y siempre se presentó el valor máximo teórico (100), para lo cual Hargis (1998) señala que cuando existe un gran número de parches ampliamente dispersos o con un alto grado de

agregación el índice de contagio se vuelve una medida insensible. De manera general, no se presentaron cambios importantes detectables con las técnicas e imágenes usadas en este estudio, aunque sí se manifestó una ligera tendencia a la simplificación de formas y a la fragmentación, que se hicieron más evidentes a una mayor escala, considerando como unidad de paisaje a los sistemas lagunares que conforman cada uno de los estados. Los resultados se muestran a continuación:

Baja California Sur: El análisis en este estado solamente incluye ambas fechas para los sistemas localizados en la costa oeste, donde hay un mayor desarrollo de sistemas de manglar. Se observó un incremento en el número de parches en las localidades tanto del norte como del centro del estado, con los valores del Índice de forma y del perímetro-dimensión área fractal (PAF), prácticamente constantes en bahía Magdalena y con un ligero aumento en bahía San Ignacio (Tabla 23).

Tabla 23. Métricas de paisaje estimadas para Baja California Sur.

Métricas	B. Magdalena		San Ignacio	
	1973	2005	1973	2005
Número de parches	892	1368	302	375
Densidad del parche	4.2	5.8	8.5	7.8
Índice de Forma	1.6	1.6	1.4	1.6
Perímetro-Dimensión AF	1.4	1.4	1.3	1.4
Distancia Euclidiana NN	157.4	102.6	228.7	125.6
Índice de contagio	100	100	100	100
Índice de agregación	90.9	89.1	89.8	88.0

Los valores del PAF son indicadores de la complejidad de los sistemas y en este caso el resultado indica que en bahía Magdalena muestra formas ligeramente más complejas en ambos años de estudio, mientras que en 1973 la forma que siguen los manglares en los sistemas asociados con bahía San Ignacio se manifiesta relativamente simple. Sin embargo, su complejidad aumentó en 2005, igualándose los valores en cuanto al índice de forma en ambos sistemas. Los valores del índice de forma coinciden con los de perímetro-dimensión área fractal, se mantiene el mismo valor en bahía Magdalena en

ambos años, manifestándose una forma del parche más compleja, y en bahía San Ignacio la complejidad es menor en 1973 y aumenta ligeramente en el 2005.

El índice de distancia de los parches (NN) disminuyó en ambos sistemas, mientras que el valor del índice de contagio se mantuvo en 100 en ambos casos y coinciden con los altos valores del índice de agregación, que indica la presencia de parches compactos en los dos años de estudio, si bien muestra una ligera disminución en ambos sistemas.

Los resultados indican que en el caso de los sistemas próximos a bahía Magdalena, aunque hay un aumento considerable en el número de parches, la forma de éstos mantiene su complejidad. En bahía San Ignacio, el aumento de los parches es menor y también se observa un ligero aumento en la complejidad de la forma de los parches, y en ambos sistemas se observa una disminución en la distancia entre parches, lo cual implica que estos puedan seguir conectados y los procesos ecológicos sigan fluyendo, a pesar del incremento en el número de parches.

Sonora. Para 1973 el número de parches total para el estado fue de 1314, de los cuales, el mayor porcentaje corresponde a la parte de manglar que se distribuye de Guásimas al estero Lobos. Esta cantidad aumentó en 1274 fragmentos para 2005, encontrándose que hubo un incremento en el número de fragmentos en todos los sistemas lagunares. El valor más alto se observa en la parte norte y la zona con menor número de parches corresponde a la zona de Huatabampito (Tabla 24).

Para el año 1973 se observan valores más próximos a 1 en cuanto a la forma de los parches, lo que indica parches de formas simples, con el valor más alto de este índice observado para Agiabampo (1.5). Sin embargo para 2005, el valor de índice de forma en Agiabampo disminuyó a 1.3 y tiene un ligero aumento en la zona de Guásimas hasta el estero Lobos, así como en Huatabampito y Yavaros, lo que podría ser un indicador de una mejor evaluación de la complejidad de los parches en esos sistemas lagunares, al incrementarse la resolución. La distancia entre parches disminuyó en todos los sistemas lagunares de 1973 al 2005, lo cual podría estar propiciando la integración de formas

Tabla 24. Métricas de paisaje estimadas para Sonora. (A) De estero Sargento a bahía Kino, (B) De Guásimas a estero Lobos, (C) Tobari, (D) Huatabampito, (E) Yavaros, (F) Agiabampo.

Métricas	Sistema lagunar						
	1973	A	B	C	D	E	F
Número de parches	154	629	300	68	83	80	
Densidad del parche	10	15.7	13.5	19.0	23.3	11.9	
Índice de Forma	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.5	
Perímetro-Dimensión AF	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.5	
Distancia euclidiana NN	243.1	194.5	151.5	141.1	263.6	239.9	
Índice de contagio	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
Índice de agregación	89	86.0	87	85.2	84.5	85.4	
	2005	A	B	C	D	E	F
Número de parches	418	1006	540	142	311	171	
Densidad del parche	24.4	19.9	27.3	32.6	28.1	75.5	
Índice de Forma	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	
Perímetro-Dimensión AF	1.39	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	
Distancia euclidiana NN	127.9	116.9	109.2	124.6	136.5	146.3	
Índice de contagio	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
Índice de agregación	83.5	80.7	79.9	79.9	80.6	69.9	

ligeramente más irregulares o complejas en los parches de algunas zonas. Sin embargo, cabe mencionar que es en Sonora donde se observan los valores más bajos del índice de agregación, siendo la posible causa la distribución natural de los bosques de manglar en el estado, la cual se observa en parches aislados geográficamente, además de tener tamaños más pequeños a comparación de otras zonas del área de estudio. Esto es debido a las características de la zona, las cuales delimitan la distribución de manglar. De acuerdo a estos resultados, aunque en todo el estado de Sonora se observa un proceso de fragmentación elevado, las zonas de mayor atención por el serían de Guásimas a estero Lobos y bahía Agiabampo, en donde se necesitan un estudio de manera más integral que

evalúe las principales causas de perturbación a estos ecosistemas y se propongan planes de manejo.

Sinaloa. Se observa que a nivel estatal el número de parches aumentó considerablemente de 4450 observados en 1973, a 11540 parches en 2005, de los cuales el 67 % se concentra en el norte y centro del estado desde Ohuira-Topolobampo hasta Altata-Ensenada de Pabellones (Tabla 25).

En este caso, el drástico aumento no parece ser debido únicamente al cambio de resolución, por lo tanto, podría indicar un efecto de fragmentación. En algunos casos, los estimados para 2005 casi triplican aquellos para 1973. En 1973, el sistema lagunar con mayor número de fragmentos se encontró en el norte del estado, en Ohuira-Topolobampo con 1045 fragmentos, al centro Santa María - La Reforma (827) y al sur el sistema Teacapán-Agua Brava (855 parches), siendo estos dos últimos sistemas donde es más evidente el proceso de fragmentación, ya que en proporción aumentaron su número de parches, más que en el sistema de Ohuira.

Los valores de índice de forma en 1973 se ubicaron entre 1.3 y 1.4 en la mayoría de los sistemas del estado, exceptuando Altata-Ensenada de Pabellones y Ceuta. En cuanto a la distancia de los parches, la vegetación en el norte del estado es la que tiene valores de distancia más altos, lo que significa que sus parches están más separados y el norte. En el centro del estado presentan los valores más altos de índice de agregación, también en la parte más al norte del estado, sin llegar a su máximo teórico, mientras que el valor más bajo se encuentra al sur en los sistemas Urías y el Huizache-Caimanero.

La distancia de los parches en la parte norte del estado podría ser causada por la actividad agrícola de la zona, la cual ha transformado el paisaje natural (Alonso-Pérez *et al*; 2003). La agricultura, aunada a los asentamientos humanos y, en menor grado la actividad acuícola, pueden ser la causa de los cambios en la cobertura de manglar. Para el 2005 el índice de forma no cambió en Ohuira y Topolobampo y Ceuta, sin embargo, en Navachiste y Sta. María-La Reforma aumentó de 1.3 a 1.4.

Tabla 25. Métricas de paisaje estimadas para Sinaloa. (A) Oluira y Topolobampo, (B) Navachiste, (C) Sta. María-La Reforma, (D) Altata-Ensenada del Pabellón, (E) Ceuta, (F) Urias-Huizache-Cajmanero, (G) Teacapán-Agua Grande

Métricas	Sistema lagunar							
	1973	A	B	C	D	E	F	G
Número de parches	1045	395	827	569	436	323	855	
Densidad del parche	7.2	4.2	4.8	4.4	9.2	21.2	12.7	
Índice de Forma	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.3	1.3	
Perímetro-Dimensión AF	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	
Distancia euclidiana NN	235.2	239.3	213.0	201.2	188.5	185.7	168.6	
Índice de contagio	100	100	100	100	100	100	100	
Índice de agregación	84.7	87.6	84.1	84.4	74.3	63.0	73.6	
	2005	A	B	C	D	E	F	G
Número de parches	2357	1292	2359	1752	1280	373	2127	
Densidad del parche	16.9	12.5	12.8	15.7	17.1	19.2	22.2	
Índice de Forma	1.3	1.4	1.4	1.3	1.4	1.5	1.2	
Perímetro-Dimensión AF	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	
Distancia euclidiana NN	105.5	110.1	100.3	108.2	95.4	88.8	88.6	
Índice de contagio	100	100	100	100	100	100	100	
Índice de agregación	87.0	86.7	85.6	87.2	84.7	81.9	83.0	

En Urias-Huizache-Cajmanero también hubo un incremento en la complejidad de la forma de los parches (de 1.3 a 1.5). La distancia entre parches es más grande en el norte del estado, sin embargo en comparación con los valores de 1973 se observa que los valores de distancia disminuyeron en todos los sistemas lagunares del Estado, lo que concuerda con los valores del índice de agregación, el cual muestra valores de mayor agregación en el 2005, lo que podría ser causado por la corrección de las imágenes, o por la posible regeneración de los parches en algunas zonas.

Nayarit. Para el análisis de fragmentación en este estado se incluyeron todos los sistemas con vegetación de manglar, tanto Marismas Nacionales, San Blas y la parte Sur

de Nayarit. Los valores muestran un incremento de 5,842 fragmentos para el 2005. El valor del índice de forma mostró una ligera disminución para 2005 al igual que la distancia entre los parches (de 115.9 a 84.4), lo que concuerda con los valores del índice de contagio y agregación (Tabla 26).

En Nayarit fue donde se observó el mayor aumento en el número de fragmentos aunque cabe señalar mencionar que a diferencia de los otros estados, en Nayarit se evaluó la fragmentación del paisaje a nivel estatal.

Tabla 26. Métricas de paisaje estimadas para Nayarit

Métricas	1973	2005
Número de parches	1713	7555
Densidad del parche	2.2	11.4
Índice de Forma	1.4	1.3
Perímetro-Dimensión AF	1.5	1.5
Distancia Euclídiana NN	115.9	84.4
Índice de contagio	100.0	100.0
Índice de agregación	94.4	88.7

Los resultados obtenidos concuerdan con Acosta (2003) quien menciona que el sistema de Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales es un sistema que ha sufrido fragmentación. Los valores de las diferentes métricas que evaluó Acosta (2003) son diferentes a los resultados de este estudio, sin embargo tienen la misma tendencia y en general los resultados de este trabajo confirman lo encontrado por dicha autora, además de tratarse de diferentes fechas de análisis (1990 y 2000). Nayarit por su importancia ha sido la zona de varios estudios sobre el bosque de manglar, con reportes de que en este estado se han sufrido pérdidas de esta cobertura debido tanto a factores naturales como antropogénicos. Por ejemplo, se ha indicado que el incremento en el número de fragmentos puede ser consecuencia de los cambios en los patrones hidrológicos de la zona, principalmente causados por la apertura del canal de Cuautla (Kovacs *et al*; 2001; Kovacs *et al*; 2005), aunado a la construcción de carreteras, de asentamientos humanos y la actividad acuícola (Ramírez, 2006).

El análisis de fragmentación es de gran importancia ya que es un indicador de la calidad de un paisaje que a su vez tiene implicaciones sobre la funcionalidad del ecosistema. Una de las consecuencias más inmediatas de un paisaje fragmentado es la interrupción de los patrones de movimiento de las especies entre los parches, lo cual puede provocar el aislamiento de los individuos en las poblaciones locales (McGarigal y Mark, 1994).

El aislamiento de los parches, también evaluado en este trabajo, es otro factor crítico en la dinámica de la estructura espacial de las poblaciones. Se menciona que conforme un hábitat es fragmentado, los parches residuales comienzan a ser más aislados de cada uno en espacio y tiempo. Esto repercute en especies sésiles con requerimientos de hábitat que son muy restrictivos, lo que las hace más sensibles al efecto de aislamiento de los parches. Considerando que la vegetación de manglar y su colonización depende de varios factores, principalmente de la hidrología, cualquier actividad que interrumpa la conexión entre los parches o los flujos que se dan entre ellos, puede generar un gran impacto a esta vegetación. En cuanto a la agregación de los parches se menciona que cuando un hábitat es fragmentado, la agregación de los parches disminuye y la subdivisión incrementa, por tanto las funciones ecológicas se ven dañadas, sobre todo los procesos que tienen que ver con la dispersión y colonización.

De acuerdo a los resultados del análisis de fragmentación, se concluye que en toda el área de estudio se observó aumento en el número de parches, independientemente de la variación a nivel de superficie total. Este cambio no es generalizado y muestra un mayor incremento en algunas zonas de Sinaloa y Nayarit, particularmente. Asimismo, se observó que los valores que indican la forma y la distancia entre parches, no muestran grandes diferencias entre las dos fechas analizadas, lo cual podría ser causado por la resolución de las imágenes. Sin embargo, el índice que analiza la distancia entre parches y la agregación entre ellos sí mostraron diferencias donde se observa una tendencia general a disminuir los valores de la distancia entre parches en 2005 y se observaron valores de agregación elevados, lo cual en conjunto podría indicar que existe una tendencia a la fragmentación de la cobertura de manglar, y

que posiblemente se trate de un proceso inicial donde los fragmentos no se encuentran totalmente separados y debido a eso aún existe una fuerte agregación entre ellos, por otra parte, tampoco se descarta que en algunas zonas existan algunos fragmentos en proceso de regeneración, debido a eso, la tendencia a la disminución de la distancia entre los parches en algunas zonas.

Como observación personal, cabe mencionarse que aún con los indicios observados en campo con relación a la fragmentación, existen importantes áreas dentro de la zona de estudio donde la vegetación se muestra densa, donde existe una gran proporción de cobertura en buenas condiciones, aunque no en condiciones óptimas, lo cual corresponde al Tipo 4. Estas áreas son críticas para el mantenimiento del sistema y deben protegerse para que continúen con su función de corredores ecológicos de un hábitat sustentable. Teóricamente, esto ayuda a reducir el aislamiento de los parches, permite que el flujo entre las especies continúe y por consiguiente disminuye la pérdida de especies y asegura la colonización (McGarigal y Mark, 2002). Sin embargo, también se ha mencionado que la ventaja de los corredores ecológicos depende de las características de las especies que habitan los parches, del contexto del paisaje, del tamaño del parche y de la variación ambiental, por lo tanto es aconsejable proponer estrategias de manejo para evitar daños graves al ecosistema de manglar.

Valoración de la calidad ambiental de los sistemas de manglar

Como se mencionó anteriormente, las diferencias entre las características espectrales y espaciales de ambos sensores utilizados en el presente estudio en algunos casos no permiten la comparación de manera directa de los resultados entre ambas fechas. En este estudio se utilizó un método de caracterización de la vegetación de manglar, a través de la distribución de los valores de NDVI y de las métricas del paisaje evaluadas, el cual permitió comparar los resultados entre ambas fechas

Los resultados finales, generados como la sumatoria de diferencias del sistema jerárquico de puntaje permitieron definir cuales son los sistemas que han mantenido

estable o inclusive mejorar su calidad vegetal, evaluada a través de las métricas y del NDVI, así como determinar cuales han sido objeto de perturbación entre las fechas analizadas. De acuerdo a este método de jerarquización, el rango de valores dentro de la sumatoria final es de -90 a 90, en este sentido, los sistemas en condiciones óptimas, sin ningún grado de disturbio tendrían un puntaje de -90, el caso contrario, los sistemas con una condición de máxima degradación obtendrían un puntaje de 90.

Los resultados se presentan en la Tabla 27, donde se muestran los valores numéricos finales y se divide al conjunto de sistemas lagunares evaluados en cuatro grupos que corresponden a un sistema gradual donde los primeros cuatro sistemas, con valores negativos, representan a los sistemas menos perturbados o mejor conservados en términos de la estabilidad de los valores jerarquizados por variable evaluada, o mejor posicionados por el desplazamiento de otros sistemas que fueron objeto de degradación. Ninguno de los sistemas presentó un puntaje de -90, que es el valor para un sistema sin disturbio. Los siguientes ocho sistemas, comprendidos en los grupos 2 y 3, con valores negativos y positivos cercanos a cero, corresponden a sistemas de manglar con niveles de perturbación intermedios. Finalmente, el grupo cuatro, con los valores positivos más elevados fueron los sistemas de manglar donde se hace manifiesta la degradación ambiental y que confirma los resultados observados en apartados anteriores, siendo el presente análisis un intento por integrar la información derivada de dichos análisis. De la misma manera los resultados muestran que no existen sistemas con un deterioro ambiental extremo, ya que de ser así, el puntaje sería igual a 90.

Por estado, se discute a continuación cuales fueron los resultados obtenidos de acuerdo al análisis jerárquico de valoración ambiental de los manglares del noroeste de México.

Baja California Sur: Los sistemas de manglar localizados en este estado (San Ignacio y Bahía Magdalena) presentan un nivel bajo de deterioro, ubicándose ambos en el grupo

intermedio 2, atribuible a las características ambientales de la zona de distribución del manglar en ese estado, lo cual se ha discutido en otros capítulos.

Tabla 27. Sistema de puntaje, muestra los sistemas lagunares con puntuación derivada del análisis de indicadores de calidad ambiental (NDVI y métricas del paisaje) que representa la graduación de menor a mayor degradación ambiental de los sistemas de manglar del noroeste de México. (NP) Número de parches, (IF) Índice de Forma, (DF) Índice de dimensión fractal, (DENN) Distancia euclidiana, (IA) Índice de agregación, (NDVI) Índice de vegetación de diferencias normalizadas.

Sistema Lagunar	N.P.	I.F.	D.F.	DENN	I.A.	NDVI	Puntaje
Yavaros	0	-9	-5	-1	-1	-5	-21
Ceuta	-1	2	-1	1	-5	-6	-10
De Guásimas a Estero Lobos	0	-9	-2	-1	3	-1	-10
Alt-Ensenada-Pabellones	-1	0	-1	2	-1	-8	-9
El verde-Urias-Hui-Caim	-3	1	-1	1	-5	2	-5
Magdalena	2	0	3	-5	-1	-2	-3
Santa María-La Reforma	-1	1	0	1	-3	-1	-3
San Ignacio	-1	-3	1	0	0	1	-2
Huatabampito	0	-7	-1	3	2	2	1
Navachiste	-1	3	-1	3	-2	-3	3
Teacapán-Agua Grande	-1	0	0	1	-5	8	5
Sargento-Bahía Kino	2	4	-1	-1	5	-1	4
Tobari	2	-2	0	-1	8	1	6
Nayarit	4	6	0	-7	1	5	7
Ohuira-Topolobampo	-1	1	-1	2	-1	9	8
Agiabampo	0	12	10	2	5	-1	10

Sonora: De acuerdo a la integración de todos los resultados, la vegetación que presenta menor disturbio en el estado de Sonora se distribuye de Guásimas a Estero Lobos y en Bahía Yavaros. Los sistemas restantes presentan en su totalidad algún grado de disturbio, siendo Estero Sargento a Bahía Kino y posteriormente en Tobari en donde se presentan los puntajes de mayor degradación. Como se ha mencionado anteriormente, en Sonora se observaron los valores de NDVI más bajos, lo cual repercute en el resultado del sistema general de puntaje.

Sinaloa: En este estado los manglares localizados en los sistemas Ceuta y Ensenada Altata del Pabellón son los que presentan mejor condición de acuerdo al sistema de puntaje. Todos los sistemas restantes presentan algún grado de disturbio, siendo el norte

del Estado en los sistemas de Ohuira y Topolobampo en primer término, y en segundo Navachiste y Teacapán Agua Grande los sistemas que manifiestan un mayor impacto.

Nayarit: El sistema de puntaje muestra que los sistemas de manglar de Nayarit se encuentran dentro del grupo 4, que caracteriza los sistemas con mayor perturbación.

De acuerdo a estos resultados los sistemas lagunares que requieren mayor atención corresponden a Sargento-bahía Kino, Estero Tobarí, y bahía Agiabampo en las colindancias de Sonora y Sinaloa, así como el estado de Nayarit en su totalidad. También se incluyen Ohuira y Topolobampo en el norte de Sinaloa, los cuales tienen que ser tomados en cuenta para futuras propuestas de manejo. El sistema de puntuación sugiere que dentro del grupo 4, correspondiente a los sistemas con mayor perturbación, bahía Agiabampo es el de mayor degradación, con un valor de 28 en el puntaje final. En este caso cabe señalar que este puntaje se ve influenciado por la disminución de complejidad de la forma de los parches en este sistema, y por la pérdida de agregación entre ellos, resultados reflejados en el análisis de fragmentación. Además Agiabampo fue uno de los dos sistemas con el valor promedio más bajo de NDVI en Sonora y aunque mostró un ligero aumento en el 2005, su valor promedio se encontró dentro de los tres más bajos, por tanto estos resultados tienen impacto en el puntaje final.

Sobre las posibles estrategias o mecánicas para el mantenimiento de humedales, específicamente de manglares, se ha señalado en primer término su importancia y beneficios, tanto ecológicos como económicos que representan. Al mismo tiempo se ha argumentado sobre la acelerada reducción de la cobertura de manglar en diferentes partes del mundo y los efectos ambientales que esto puede acarrear. Uno de los ejemplos más impactantes es el de Tailandia, país que perdió el 50% de la cobertura de manglar que existía en la parte sur y que a finales de 2004 estuvo sujeto a fuertes impactos ambientales causados por una marejada o Tsunami. La pérdida de manglar se asocia principalmente con actividades antropogénicas como asentamientos humanos,

infraestructura para transporte, agricultura, pero principalmente causado por granjas camaronícolas (Thampanya *et al*; 2006).

Ecuador y Filipinas y diversos países, principalmente de Asia también han convertido grandes extensiones de manglar a camaronicultura y por esta razón se ha asumido que ocurre el mismo efecto a nivel mundial, incluido México (Ruiz-Luna y Berlanga-Robles, 2001). Sin embargo, estos autores señalan que uno de los problemas al mencionar las pérdidas de manglar es que éstas no han sido documentadas adecuadamente para establecer la magnitud del daño sobre los bosques de mangle.

En una compilación efectuada sobre manglares de Latinoamérica, Loa (1994) (en Suman, 1994) recopila datos sobre estimaciones de la extensión de manglar de distintos países de esta región, incluido México, en algunos casos con referencias sobre la proporción o magnitud de pérdida de cobertura. Sin embargo, no se señalan los métodos y precisión con la que fueron obtenidas las estimaciones, siendo una situación común en diversos estudios sobre cobertura de manglar, lo cual impide establecer un juicio crítico sobre las tasas de deforestación y origen de los cambios.

Con el fin de contribuir con información que permita disminuir la incertidumbre sobre la extensión y calidad de la cobertura de manglar en el noroeste de México, se realizó el presente trabajo, en donde los resultados en cuanto a cifras, concuerdan con algunos datos generados para algunos sistemas de manglar en esta misma región del país (Alonso-Pérez *et al*; 2003; Berlanga-Robles *et al*; 2005; Ruiz-Luna *et al.*, 2005; Acosta-Velázquez y Ruiz-Luna, en prensa). Concuerdan también en el sentido de que a pesar de que documentan una disminución en la cobertura de manglar, no corresponden con la tendencia observada en otros países o regiones de México, donde se han llegado a mencionar pérdidas de hasta el 50 o 60% del total nacional. La normatividad oficial Mexicana le ha dado un status de protección al manglar mediante la NOM-59; NOM-022-SEMARNAT-2003 que en cierta manera podría estar ayudando a aminorar la presión sobre estos ecosistemas, sin embargo, existen puntos débiles en la misma normatividad que no permiten que esta cobertura esté protegida al máximo y no existe un monitoreo adecuado para asegurar la preservación de estos sistemas.

A diferencia de la tendencia observada en otros países, en el presente estudio se encontró en la mayoría de los casos, diferencias positivas en cuanto a cobertura de manglar para el 2005 con respecto a 1973, que están más relacionadas con el aumento en la resolución del análisis que con una verdadera ganancia espacial, sin que esto implique que no haya habido pérdidas de cobertura en un periodo de 32 años. Los resultados correspondientes a las imágenes de 1973 son menos precisos y dados los resultados para 2005, con una distribución espacial de la cobertura que poco ha variado entre fechas, se infiere que ha habido una subestimación de la superficie de manglar para las fechas menos recientes. Sin embargo, el estado de Nayarit es el único en el presente estudio donde las diferencias son negativas y donde las pérdidas estimadas son de aproximadamente de 9,000 ha y probablemente mayores si se acepta el criterio de subestimación, lo cual es un indicador de la problemática existente en esa zona.

Al respecto, Berlanga-Robles y Ruiz-Luna (2006) mencionan que en el periodo de 1973 a 1992 se observaron pérdidas en la cobertura de manglar por causa de deforestación y el desplazamiento para la construcción de estanques camaronícolas. Aunado a lo anterior se han presentado fenómenos naturales como el Huracán Rosa en 1994, lo cual originó pérdidas en la cobertura (Tovilla y Orihuela, 2004; Berlanga-Robles y Ruiz-Luna, en prensa). Sin embargo, parece existir coincidencia en que la principal causa de pérdida de manglar en el norte de Nayarit ha sido la apertura del canal de Cuautla en 1974 y su posterior ensanchamiento, hasta alcanzar aproximadamente 1 km de anchura, lo cual ha generado grandes cambios en el régimen hidrológico, lo que tiene consecuencias sobre los cambios en la salinidad del sistema (Kovacs, 2001), provocando la pérdida de cobertura y favoreciendo el proceso de fragmentación de los manglares.

Por otro lado, las estimaciones de cobertura de manglar en el resto del área de estudio concuerdan con algunos autores como Ruiz-Luna *et al.* (2005b), quienes mencionan que la extensión de manglar se ha mantenido constante en los últimos 30 en el noroeste de México, mientras que en otras zonas existen estimaciones de tasas de cambio positivas (Berlanga, 2006).

En cuanto a las pérdidas de cobertura de manglar provocadas por las actividades antropogénicas, uno de los estados donde mayor número de estudios se ha llevado a cabo es Sinaloa, caracterizado por su desarrollo en la actividad camaronícola, a la cual en diversas ocasiones se le ha atribuido la reducción de los ecosistemas de manglar. De acuerdo con los resultados de Ruiz-Luna *et al;* (2005b), en Sinaloa la pérdida de cobertura de manglar no rebasa el 3.0% del total que fue estimado en fechas previas al establecimiento de las granjas, aunque el 30% de las granjas no cumplen las normas en cuanto a las restricciones de distancia. La mayor extensión de granjas camaronícolas se localiza al norte y centro del estado (Ruiz-Luna y Berlanga-Robles, 2003), sin embargo, los resultados en este trabajo muestran que la vegetación en esa zona en el año más reciente del análisis se encuentra dentro de valores de NDVI representados por una cobertura en buenas condiciones, lo cual es un indicador de que la actividad camaronícola no necesariamente ha provocado alteraciones al paisaje por efecto de deforestación, aunque sí por ocupación tanto de sistemas lagunares como de marismas, donde la mayoría de granjas se han construido (Hernández-Cornejo y Ruiz-Luna, 2000). A una conclusión similar, con respecto a las tendencias de la cobertura de manglar, arriban Berlanga y colaboradores (2005), quienes mencionan haber encontrado una ligera tendencia positiva en la cobertura de manglar de 1973 a 1986 en la cuenca Lechuguilla-Ohuira-Navachiste a diferencia de otros manglares en el estado.

Aunque la acuicultura no ha incidido específicamente sobre la cobertura de manglar, la construcción de infraestructura provoca cambios de manera indirecta, se ha mencionado que algunas de las alteraciones que promueve son los cambios en los patrones hidrológicos, hipersalinidad y eutrofización (Páez-Osuna *et al;* 2003). Otros tipos de efectos de perturbación indirectos muy comunes hacia los manglares en algunas zonas son las construcciones de caminos y carreteras, la urbanización de la zona costera (Ruiz-Luna y Berlanga-Robles, 1999; Ruiz-Luna y Berlanga-Robles, 2002), o la construcción de desarrollos turísticos, obras de infraestructura para la explotación y transporte de petróleo o líneas de distribución de la energía eléctrica (López-Portillo y Ezcurra, 2002).

Los impactos mas persistentes en los sistemas hidrológicos son provocados por el cambio de cobertura y uso de suelo, los cuales van a alterar las características hidrológicas de la superficie, modificando los patrones y tasas del flujo del agua (Berlanga-Robles *et al.*, 2005), lo cual puede provocar daños a los ecosistemas costeros y por ende repercutir en los bosques de manglar, recordando que su propagación depende en gran manera del régimen de inundación y de las características hidrológicas y topográficas de la zona (Blasco *et al.*, 1996) podría provocar daños muy severos a la cobertura de manglar a largo plazo si no existe un enfoque precautorio.

Es de vital importancia conocer las transformaciones del bosque de mangle, como se ha mencionado en este trabajo, la disminución de la cobertura de manglar y las tasas de deforestación no se igualan a las pérdidas de coberturas en otras partes del mundo; aunque las zonas de manglar han sufridos impactos propiciados por las actividades humanas, no existe evidencia de grandes pérdidas. Sin embargo, se considera que la calidad de la vegetación ha cambiado a través del tiempo, por lo tanto es de vital importancia conocer las tendencias de los cambios sufridos por estos sistemas a fin de garantizar su permanencia y la continuidad de las comunidades vegetales.

Con ese propósito se utilizó el NDVI como un indicador de calidad y estado de salud de la vegetación, asumiendo que sus valores descenderían con respecto al tiempo. Sin embargo, los resultados señalan que los valores de NDVI presentan tendencias positivas o nulas en el mejor de los casos, atribuyéndose en parte a aspectos técnicos relacionados con la capacidad de registro de los sensores.

Por ejemplo, en Baja California Sur, se observó un incremento en la proporción de manglar en el tipo 3 y 4, concordando con lo reportado por Acosta-Velázquez y Ruiz-Luna (en prensa), que señalan que los manglares de esa zona están sometidos a bajo impacto por actividades antropogénicas.

La situación en Sonora fue similar, aunque es el estado con los valores más bajos en cuanto a indicadores de calidad vegetal existen estudios que mencionan que la vegetación de manglar en este estado depende de factores relacionados con la variación en el nivel del mar y la amplitud de marea, lo cual hace que esta vegetación esté sujeta a

inundaciones solamente en el periodo de mareas mas altas en el verano. También las altas tasas de evaporación y la escasez de agua fresca determinan las características estructurales de esta vegetación (Kovacs *et al*; 2004). Por otra parte, Arreola-Lizárraga *et al*; (2004) mencionan que los manglares localizados en Las Guásimas, Sonora están sujetos a una alta tasa de evaporación, lo que provoca suelos muy salinos y que la especie más adaptada a estas condiciones es *A. germinans*.

Cabe mencionarse que nos estamos refiriendo a la zona límite de distribución de manglar, en donde los factores climáticos son extremos, lo cual podría provocar grandes cambios a nivel fisiológico de la cobertura, sin embargo, los manglares en esta zona se encuentran en buena condición. De cualquier manera es importante recordar que la zona costera del mar de Cortés está siendo sometida a un desarrollo turístico en expansión, promoviendo la construcción de infraestructura hotelera, canchas de golf y expansión de las zonas urbanas, lo cual podría provocar un fuerte impacto a los ecosistemas de manglar si no se cuenta con un programa de manejo adecuado.

En Sinaloa se observan valores altos de NDVI, existe un aumento en los intervalos 3 y 4 en la mayoría de los sistemas lagunares de este estado y se nota una disminución de la condición vegetal al sur de Sinaloa, siendo el único sitio donde este patrón se registró. En Nayarit, a pesar de las pérdidas de la cobertura vegetal también se observaron valores altos de NDVI comprendidos dentro el manglar Tipo 3 en ambos años, sin embargo sí se observa una disminución en los valores de NDVI en la parte sur del estado en 2005.

Finalmente, el NDVI nos permitió conocer la condición actual de los bosques de mangle en el noroeste de México y poder identificar las zonas con valores más bajos. Los valores del NDVI en conjunto con la evaluación de métricas del paisaje permiten conocer de una manera mas íntegra la calidad de la vegetación, ya que como se pudo observar en los resultados en cuanto a superficie, en los cuales las pérdidas de cobertura de manglar no son tan notorias como algunos autores reportan, se observa en el presente trabajo que la calidad de la vegetación sobre todo en cuanto al grado de fragmentación del paisaje sí presenta modificaciones a través del tiempo. Así mismo, aunque se

muestra un incremento de cobertura de manglar comprendida en los tipos que representan mejor condición vegetal, una gran proporción del manglar se encuentra entre los Tipos 1 y 2. Lo cual reafirma la argumentación del presente estudio, en el cual se cree que la presión ejercida a los ecosistemas de manglares, no precisamente está siendo reflejada en la pérdida de superficie de ésta cobertura, pero sí en la pérdida de la calidad vegetal.

En cuanto a la fragmentación de un ecosistema se dice que es una amenaza para mantener su integridad, y que aunque se trata de un proceso natural, se ha reportado que la mayor causa de la transformación del paisaje se debe a las actividades antropogénicas (Ochoa-Gaona, 2001). En este sentido, la Ecología del paisaje es de gran utilidad, ya que se enfoca en el estudio de la estructura, función y cambio de los paisajes, enfatizando las interacciones entre los patrones espaciales y los procesos ecológicos (Turner *et al*; 2001). En el presente estudio se hizo uso de métricas espaciales o índices de paisaje, ya que estas aportan gran información acerca del proceso de deforestación y fragmentación en el paisaje. Tales métricas se utilizaron para analizar las características de los parches, como el tamaño, forma, o posición del fragmento en el paisaje (Turner *et al*; 2001), ya que la fragmentación se refleja en cambios en la estructura espacial del paisaje. Estas métricas han sido desarrolladas desde 1950, y su objetivo principal es describir la condición ecológica de los paisajes (Herzog *et al*; 2001).

Los resultados mostraron procesos de fragmentación en el noroeste de México, indicados principalmente por el aumento en el número de fragmentos el cual es el primer paso dentro de un proceso de fragmentación. Las zonas más alarmantes debido al incremento en el número de fragmentos son el norte de Sinaloa y el estado de Nayarit, lo cual podría ser explicado por factores característicos de las zonas como la localización geográfica, tipo de suelo, disponibilidad de agua, entre otros, los cuales reúnen los criterios para el establecimiento de ciertas actividades económicas.

En cuanto a las actividades antropogénicas en el noroeste de México, debido a las características de la franja costera como se mencionó anteriormente, se ha dado un gran desarrollo de la actividad agrícola y camaronícola. Berlanga-Robles (2006)

menciona que la agricultura ha sido la principal causa de cambio de uso de suelo, mientras que Ruiz-Luna *et al;* (1995) mencionan que también esta actividad ha provocado el desplazamiento de clases como selva y vegetación secundaria; por su parte, Acosta (2003) encontró que la agricultura fue la principal causa de deforestación en el bosque tropical y desplazamiento de humedales costeros, principalmente la zona de marismas en el Sistema Teacapán-Agua Brava y Marismas Nacionales. Aunque regularmente estas actividades no impactan directamente la cobertura de manglar, se debe tomar en cuenta, desde un enfoque ecosistémico, que todas las actividades tienen influencia y que al provocar cambios en la estructura del paisaje, en donde el paisaje o hábitat se subdivide en varios fragmentos que pueden llegar a separarse con el tiempo y, dependiendo de las condiciones, finalmente llegan a aparecer como parches aislados, en donde la diversidad regional se ve afectada por este proceso.

Sinaloa es uno de los estados de mayor producción camaronícola en México, y el crecimiento en el número de granjas ha ido en aumento a través del tiempo (Ruiz-Luna y Berlanga-Robles, 2001), lo cual finalmente se traduce en disponibilidad de suelo y aunado a la actividad agrícola, puede ser un factor que agrave el problema de fragmentación.

Uno de los problemas más importantes de la zona costera es el conflicto de usos que se da por los diferentes actores, por lo que es necesario programas de manejo que tengan no solo como objetivo la protección de la zona de humedales, si no un programa de desarrollo sustentable de las diferentes actividades que se llevan a cabo en la zona costera, desde un enfoque ecosistémico, para la conservación de los procesos ecológicos que se dan en la zona costera. Para ello es necesario el conocimiento de la biología de los ecosistemas, su funcionamiento, su condición actual y los cambios en ellos mediante un monitoreo constante que permita conocer indicadores ambientales con los cuales se puedan crear programas de manejo eficientes. En esa perspectiva, los resultados presentados en este estudio en cuanto a superficie y condición de manglar analizada mediante el NDVI y la fragmentación del paisaje, puede ayudar a la formación de dichos programas.

CONCLUSIONES

- Coincidiendo con otros resultados donde se ha utilizado con éxito la percepción remota, en el presente trabajo se confirma que los patrones de distribución del manglar en el noroeste de México han variado escasamente durante las última tres décadas.
- Se redujo el nivel de confusión en la clasificación de cubiertas vegetales asociadas con manglar al utilizarse un indicador de vegetación (NDVI) como auxiliar para la clasificación, que permitió además determinar que Sinaloa es el estado donde, en promedio, se ubican los valores más altos durante las dos fechas, si bien es donde hay mayor variación..
- Se estableció con exactitud el límite norte de distribución del manglar, tanto en el Pacífico (26°50' N) como en el golfo de California (29°21' N), evidenciándose con trabajo de campo que pese a ubicarse en condiciones climáticas extremas, los manglares se encuentran en buenas condiciones.
- Aunque en términos generales los resultados sugieren que a nivel regional no se han presentado variaciones importantes en la extensión de los sistemas de manglar, se infiere que el uso de imágenes MSS tiende a subestimar la superficie ocupada por esta cobertura, por lo que es recomendable que este tipo de análisis comparativos se realice en lo posible con imágenes de la misma resolución.
- A nivel estatal, se determinó que Nayarit es el estado con mayor pérdida de cobertura de manglar y que la pérdida pudiera ser mayor a la evaluada, si se considera la posibilidad de subestimación con el análisis de imágenes Landsat MSS.
- Para los estados de BCS, Sonora y Sinaloa se obtuvo un repunte en la extensión del manglar, por lo que en términos generales se asume que la superficie total se mantuvo relativamente estable, aún considerando la pérdida observada en Nayarit.
- Los valores de NDVI obtenidos con los dos sensores no parecen ser comparables de manera directa, sin embargo su categorización por medio de cuartiles permite

concluir que a nivel regional los manglares de Tipo 3 representaron la mayor extensión a lo largo del periodo de estudio.

- Por estado la tendencia difiere ya que solo en Nayarit (1973) y Sinaloa (2005) hubo predominancia del Tipo 3, sin embargo dada su extensión tiene un efecto importante en la distribución general.
- En los estados donde se ubican los límites de distribución latitudinal, predominó la presencia de los tipos 1 y 2, en ambas fechas, que corresponden al manglar con menor vigor y densidad.
- Los resultados derivados del presente trabajo permiten describir a los manglares del noroeste de México como una cobertura que tiende a ser dispersa hacia sus límites geográficos de distribución, debido a las condiciones ambientales prevalentes, con coberturas más homogéneas en cuanto a extensión en Sinaloa y Nayarit, donde de igual manera se encuentran los indicadores más altos de calidad vegetal, sin que las características de distribución, extensión y calidad hayan variado significativamente durante tres décadas, pese a que se presentan evidencias de fragmentación, resultantes del análisis de métricas del paisaje.
- Los resultados de la valoración de la calidad ambiental de los ecosistemas de manglar de la zona de estudio a partir del método de jerarquización de puntajes indican que es necesario poner mayor atención a los sistemas ubicados en Estero Tobari, en Sargento-bahía Kino, bahía Agiabampo en el estado de Sonora, bahía Ohuira y Topolobampo en el norte de Sinaloa y al estado de Nayarit para proponer programas de manejo adecuados que aminoren las causas de perturbación en estos sistemas y permitan su regeneración y conservación.
- Se propone el uso de los indicadores generados en el presente estudio como elementos a considerar en el desarrollo de estrategias de manejo en cada uno de los sistemas costeros comprendidos dentro de la zona de estudio, que permitan el diseño de prácticas destinadas al manejo sustentable, conservación y recuperación de esta importante cobertura vegetal en el noroeste de México.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta V. 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. 89 pp.
- Acosta-Velázquez J; A. Ruiz-Luna. 2007. Variación en la cobertura, distribución y estructura de los manglares del complejo lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas (1990-2005). 1. En: Funcs-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 127-141.
- Alonso-Pérez F; A. Ruiz-Luna, J. Turner, C. A. Berlanga-Robles y G. Mitchelson-Jacob. 2003. Land cover changes and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon system, Sinaloa, México. *Ocean and Coastal Management* 46: 583-600.
- Arreola-Lizárraga J. A, F. Flores-Verdugo y A. Ortega-Rubio. 2004. Structure and litterfall of an arid mangrove stand on the Gulf of California, Mexico. *Aquatic Botany* 79: 137-143.
- Astrálagua M. 2006. La Convención Ramsar y los ecosistemas de Manglar. 6 pp. Disponible en: http://www.ramsar.org/speech/speech_campeche_manglares2006.pdf
- Barbier E. B; M. C. Acreman y D. Knowler. 1997. Economic valuation of wetlands: a guide for policy makers and planners. Ramsar Convention Bureau, Gland, Switzerland. 143 pp.

- Bascompte J. y R. Solé. 1996. Habitat fragmentation and extinction thresholds in spatially explicit models. *Journal of Animal Ecology* 65: 465-473.
- Bennett A. F. 1999. Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation. IUCN, Suiza. 254 pp.
- Berlanga-Robles C. A. 1999. Evaluación de las condiciones actuales y del cambio en los paisajes de humedales de la costa sur de Sinaloa; México: una aproximación con el uso de datos provenientes de sensores remotos. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 111 pp.
- Berlanga-Robles C. A. 2006. Caracterización de los paisajes costeros de Sinaloa y norte de Nayarit, México a través del análisis de los patrones de cobertura del terreno. Tesis de Doctorado. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México. 203 pp.
- Berlanga-Robles C. A. y A. Ruiz-Luna. 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. *Rev. Universidad y Ciencia*. 23,1: 29-46.
- Berlanga-Robles C. A. y A. Ruiz-Luna. 2002. Land use mapping and change detection in the coastal zone of northwest of Mexico using remote sensing techniques. *Journal of Coastal Research* 18, 3: 514-522.
- Berlanga-Robles C. A; A. Ruiz-Luna, H. O. Covarrubias-Legaspi y A. Ventura. 2005. Cambios de los patrones de escurrimientos en la cuenca Lechuguilla-Ohuira Navachiste, México. Memorias 6ª Semana Geomática. Barcelona. Versión digital Doc. S8.

- Blasco F; P. Saenger y E. Janodet. 1996. Mangroves as indicators of coastal change. *Catena* 27, 3:167-178.
- Campbell J. B. 1996. *Introduction to remote sensing*, Taylor and Francis, London, 622 pp.
- Campbell J. B. 2007. *Introduction to remote sensing*. Fourth edition. The Guilford Press, p. 465-468.
- Carrera E. y G. de la Fuente. 2003. *Inventario y Clasificación de Humedales en México*. Ducks Unlimited de México, AC México, 239 pp.
- Chapman V. J. 1975. Mangrove biogeography. En: G. E. Walsh, S. C. Snedaker y H. T. Teas, eds. *Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves Vol. I*, Universidad de Florida, Gainesville. p. 3-22.
- Chapman, V. J. 1970. Mangrove Phytosociology. *Tropical Ecology* 5: 1-19.
- Chuvieco E; F. J. Salas; I. Aguado, D. Cocero y D. Riaño. 2001. Estimación del estado hídrico de la vegetación a partir de sensores de alta y baja resolución. *GeoFocus* 1: 1-16.
- Cintrón G. y Y. Schaeffer-Novelli. 1983. *Introducción a la ecología del manglar*. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología, UNESCO, América Latina-Caribe-ROSTLAC. Montevideo. p. 100-109.
- Collinge S. K. 2002. Effects of grassland fragmentation on insect species loss, colonization, and movement patterns. *Ecology* 81, 8: 2211- 2226.
- Duke N. C; M C. Ball y J. C. Ellison. 1998. Factors influencing biodiversity and distributional gradients in mangroves. *Global Ecology and Biogeography Letters* 7: 27-47.

- Field C. D. 1995. Impact of expected climate change on mangroves. *Hidrobiología* 295: 75-81.
- Flores-Verdugo F. J. 1989. Algunos aspectos sobre la ecología, uso e importancia de los ecosistemas de manglar. En: de la Rosa Vélez J; F. González-Farías. *Temas de Oceanografía Biológica en México*. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada. p. 21-56.
- Flores-Verdugo F. y C. Agraz-Hernández. 2002. Los ecosistemas de manglar, su importancia económica, ecológica y social. En A.J. Laborda Nava. *El mar como fuente de moléculas bioactivas*. Secretaría de Publicaciones y Medios Audiovisuales. Universidad de León. España. p. 51-65.
- Flores-Verdugo F; F. González-Farías, O. Ramírez-Flores, F. Amezcua-Linares, A. Yañez-Arancibia, M. Álvarez-Rubio y J. W. Day. 1990. Mangrove ecology, aquatic primary productivity, and fish community dynamics in the Teacapán-Agua Brava lagoon-estuarine system (Mexican Pacific). *Estuarios* 13, 2: 219-30.
- Fregoso A. y B. Cotler. 2005. Métodos utilizados para la detección de cambios de uso del suelo en bosque de manglar. Evaluación preliminar de las tasas de pérdida de manglar en México. Informe solicitado por la Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental – SEMARNAT. México, 23 pp.
- Gilbert M. A, J. González-Piqueras y J. García-Haro. 1997. Acerca de los índices de Vegetación. *Revista de Teledetección* 8: 35-45.
- Green E. P; P. J. Mumby, A. J. Edwards y C. D. Clark. 2000. Mapping Mangroves. En: *Remote Sensing. Handbook for Tropical Coastal Management*. UNESCO Publishing. p. 183-195.

- Green E. P; P. J. Mumby, A. J. Edwards, y C. D. Clark. 1996. A review of remote sensing for the assessment and management of tropical coastal resources. *Coastal Management* 24: 1-40
- Gurrola L. H. 2000. Evaluación de los cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo del sistema lagunar bahía Santa María, Sinaloa, México, con aplicación de Percepción Remota. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. México. 91 pp.
- Gustafson E. J. y G. R. Parker. 1992. Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. *Landscape Ecology* 7, 2: 101-110.
- Hardisky M. A; M. F. Gross y V. Klemas. 1986. Remote sensing of coastal wetlands. *Bioscience* 36: 453-460.
- Hargis C. D; J. A. Bissonette y J. L. David. 1998. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landscape Ecology* 13: 167-186.
- Hernández-Cornejo R. y A. Ruiz-Luna. 2000. Development of shrimp farming in the coastal zone of southern Sinaloa Mexico: operating characteristics, environmental issues, and perspectives. *Ocean and Coastal Management* 43: 597-607.
- Herzog F; A. Lausche, E. Muller, H. Thulke, U. Steinhardt, S. Lehmann. 2001. Landscape metrics for assessment of landscape destruction and rehabilitation. *Environmental Management* 27, 1: 91-107.
- Hopkins J. S; P. A. Sandifer, M. R. DeVoe, A. F. Holland, C. L. Browdy y A. D. Stokes. 1995. Environmental impacts of shrimp farming with special reference to the situation in the continental United States. *Estuaries* 18: 25-42.

- Ibañez G. S; G. Salinas, M. J. Lund y F. Maldonado. 1998. Análisis de áreas salinizadas del Valle del Tulum, mediante el uso de imágenes Landsat TM. Boletín SELPER-México 44: 15-36.
- Johnson A. R; J. A. Wiens, B. T. Milne y T. O. Crist. 1992. Animal movements and population dynamics in heterogeneous landscapes. *Landscape Ecology* 7, 1: 63-75.
- Jupiter S. D; S. Phinn, N. C. Duke y D. C. Potts. 2003. The Buffer zone: Connectivity between mangrove and coral reef ecosystems in the context of land use change. Disponible en: http://www.cms.uq.edu.au/mackayarc/Reports%20&%20publications/Jupiter_etal_2003_ISRSE_bw.pdf
- Kovacs J. M; F. Flores-Verdugo, J. Wang y L.P. Aspden. 2004. Estimating leaf area index of a degraded mangrove forest using high spatial resolution satellite data. *Aquatic Botany* 80: 13-22.
- Kovacs J. M; J. Wang y M. Blanco. 2001. Mapping mangrove disturbances using multi-date Landsat TM imagery. *Environmental Management* 27: 763-776.
- Lawrence R. L. y W. J. Ripple. 1998. Comparisons among vegetation indices and bandwise regression in a highly disturbed heterogeneous landscape: Mount St. Helens, Washington. *Remote Sensing of Environmental* 64: 91-102.
- Lillesand, T. M; R. W. Kiefer y J. W. Chipman. 2004. Remote sensing and image interpretation. Fifth edition. John Wiley and Sons, Inc. 763 p.
- López-Portillo J. y E. Ezcurra. 2002. Los Manglares de México: Una revisión. *Madera y Bosques* Número especial p. 27-51.
- Lot A. y A. Novelo. 1990. Forested wetlands of Mexico. En: A. E. Lugo. *Ecosystems of the World* 15. Forested Wetlands. 287-298 pp.

- Loyche-Wilkie M. y S. Fortuna. 2003. Status and trends in mangrove area extent worldwide. FAO 2003. En línea: <http://www.fao.org/docrep/007/j1533e/j1533E00.htm#TopOfPage>.
- Lugo A. E; R. R. Twilley y C. Patterson-Zucca. 1980. The role of black mangrove forest in the productivity of coastal ecosystems in South Florida. Report to E.P.A. Corvallis Environmental Research Laboratory. Oregon, USA 281pp.
- Manassrisuksri K; M. Weir y A. Hussin. 2001. Assessment of a mangrove rehabilitation programme using remote sensing and GIS: A case of study of Amphur Khlung, Chantaburi Province, Eastern Thailand. Presented at the 22nd Asian Conference on Remote Sensing. 6 pp.
- Manson F. J; N. R. Loneragan y S. R. Phinna. 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* 56: 1-14.
- McGarigal, K. y B. J. Marks. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report PNW-351.
- McGarigal, K; S. A. Cushman y M. C. Neel. 2002. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps. Programa de cómputo producido por los autores en la Universidad de Massachusetts, Amherst. En línea: www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstat.html.
- Mumby P. J; E. P. Green, A. J. Edwards y C. D. Clark, 1999. The cost-effectiveness of remote sensing for tropical coastal resources assessment and management. *Journal of Environmental Management* 55:157-166.

- Ochoa-Gaona S. 2001. Traditional land-use systems and patterns of forest Fragmentation in the highlands of Chiapas, México. *Environmental Management* 27, 4: 571-586.
- Odum E. P. 1972. *Ecología*. Nueva Editorial Interamericana, 3a Edición. 640 p.
- O'Neill R. V; J. R. Krummel, R. H. Gardner, G. Sugihara, B. Jackson, D. L. DeAngelis, B. T. Milne, M.G. Turner, B. Zygmunt, S. W. Christensen, V. H. Dale y R. L. Graham. 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* 1, 3:153-162.
- Pacheco-Ruiz I; J.A. Zertuche-González, E. Meling_López, R. Riosmena-Rodríguez y J. Orduña-Rojas. 2006. El límite norte de *Rhizophora mangle* L. en el Golfo de California, México. *Ciencia y Mar* 10, 28:19-22.
- Páez-Brito L. 2000. Evaluación de cambios de paisaje del sistema Estuarino de San Blas, Nayarit y su área adyacente a la desembocadura del río Santiago con aplicación de Percepción Remota. Tesis de maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C; Mazatlán, México. 76 pp.
- Páez-Osuna F; A. Gracia, F. Flores-Verdugo, L. P. Lyle-Fritch, R. Alonso-Rodríguez y A.C. Ruiz-Fernández. 2003. Shrimp aquaculture development and the environment in the Gulf of California ecoregion. *Marine Pollution Bulletin* 46, 7:806-15.
- Pattiaratchi C. 1992. Coastal environmental mapping using landsat data. Proceedings of the Central symposium of the International Space Year Conference, Munich, Germany, 30 March. 5 pp.
- Pennington D. y J. Sarukhán. 1998. *Árboles Tropicales de México*. Ediciones Científicas Universitarias. Universidad Autónoma de México. Fondo de Cultura Económica. Segunda Edición. México. Nature 521 pp.

- Pinto J. 2006. Evolución del paisaje y estado de conservación de la reserva forestal en Choré. *Kempffiana* 2, 1:45-56
- Ramírez B. P. R. 2006. Análisis espacial de la cobertura de manglar en los municipios de Tecuala y Santiago Ixcuintla, Nayarit en el periodo de 1973. Tesis de maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Mazatlán, México. 95 pp.
- Ramírez-García P. y A. Lot. 1994. La distribución del manglar y los pastos marinos en el Golfo de California. *Anales Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma, México, Serie Botánica*, 65,1: 63-72.
- Ramírez-García P; J. López-Blanco y D. Ocaña. 1998. Mangrove vegetation assessment in the Santiago river mouth, México, by means of supervised classification using Landsat TM imagery. *Forest Ecology and Management* 105: 217-229.
- Ramos B. 2004. Estructura y composición de un paisaje boscoso fragmentado: Herramienta para el diseño de estrategias de conservación de la biodiversidad. Tesis de Postgrado. CATIE. Costa Rica. 114 pp.
- Robbins C. S; D. K. Dawson y B. A. Dowell. 1989. Habitat area requirements of breeding forest birds of the middle Atlantic states. *Wildlife Monograph*. 103 pp.
- Ruiz-Luna A. y C. A. Berlanga-Robles. 1999. Modifications in coverage patterns land use in the landscape around the Huizache-Caimanero lagoon system, Sinaloa, México: A multitemporal analysis using Landsat images. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 49:37-44
- Ruiz-Luna A. y C. A. Berlanga-Robles. 2001. El potencial de la Camaronicultura para transformar el paisaje en la zona costera. El sur de Sinaloa como caso de estudio. En: Páez-Ozuna. 2001, (ed). *Camaronicultura y Medio Ambiente*, p. 328-348.

- Ruiz-Luna A. y C. A. Berlanga-Robles. 2003a. Lands use, land cover changes y coastal lagoon surface reduction associated whit urban growth in northwest Mexico. *Landscape Ecology* 18: 159-171.
- Ruiz-Luna A. y C. A. Berlanga-Robles. 2003b. Los sistemas de producción camaronícola en Sinaloa. En: Cifuentes L.J.L. y J. Gaxiola López (eds.). *Atlas de los ecosistemas de Sinaloa*. El Colegio de Sinaloa, México. p. 407-415.
- Ruiz-Luna A; C. A. Berlanga-Robles y J. Acosta-Velázquez, 2005. Bases para el ordenamiento ecológico de la zona costera del norte de Nayarit, México. *Semana Geomática Barcelona "Los sensores de alta resolución y sus aplicaciones"*. 8-11 de Febrero de 2005, Barcelona, España. (Extenso G18. pdf). http://www.isprs.org/publications/related/semana_geomatica05/front/abstracts/Dimecres9/G18.pdf
- Ruiz-Luna A., J. Acosta-Velázquez and C.A.Berlanga-Robles. 2007. On the reliability of the data of the extent of mangroves; a case study in Mexico. *Ocean and Coastal Management*. doi:10.1016/j.ocecoaman.2007.08.004.
- Ruiz-Luna A; J. Acosta-Velázquez y C. A. Berlanga-Robles. 2005. Expansión de la camaronicultura sobre humedales costeros en Sinaloa, México. *Memorias 6ª. Semana Geomática, Barcelona. Versión Digital. DOC. S34.*
- Ruiz-Luna A; J. Acosta-Velázquez, F. Flores-Verdugo, C. A. Berlanga-Robles, N. A. Trelles-Rios y K. Monzalvo. 2004. Aplicación de técnicas de percepción remota para el análisis de la distribución, extensión y estructura de sistemas de manglar en Baja California Sur, México. *XI Simposio Latinoamericano sobre Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial*. Santiago de Chile. 22-26 de Noviembre.
- SARH-UNAM. 1994. *Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994*. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre.

- SEMARNAT-JNE. 2005. Evaluación preliminar de las tasas de pérdida de la superficie de manglar en México. Septiembre de 2005. 22 pp.
- Snedaker S. C. y C. D. Getter. 1985. Pautas para el manejo de los recursos costeros. National Park Service, USAID, USDI. 286 pp.
- Sunam D. O. 1994. El ecosistema de manglar en América Latina y la cuenca del Caribe: su manejo y conservación. Rosentre School of Marine and Atmospheric Science, Univ. Miami and Thinker Foundation, NY. 263 pp.
- Thampanya U; J. E. Vermaat, S. Sinsakul y N. Panapitukkul. 2006. Coastal erosion and mangrove progradation of southern Thailand. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 68: 75-85.
- Tovilla H. C. y Orihuela B. D. E. 2004. Impacto del huracán Rosa sobre los bosques de manglar de la costa norte de Nayarit, México. *Madera y Bosques*. Número especial 2: 63-75.
- Trujillo B. P. 2007. Inventario de los humedales costeros del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, utilizando técnicas de Percepción Remota. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar. UAS. Mazatlán, México. 52 pp.
- Turner M.G; R. H. Gardner y R. V. O Neill. 2001. *Landscape ecology in the theory and practice. Pattern and process*. Spring-Verlag, New York. 401 pp.
- Valiela I; J. L. Bowen y J. K. York. 2001. Mangrove Forest: one of the worlds threatened major tropical environments. *BioScience* 51, 10: 807-815.
- Viedma O. y E. Chuvieco. Cartografía y Evaluación de daños causados por incendios forestales mediante técnicas de teledetección. El ejemplo de la hoya de Buñol, Valencia. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá de Henares. En línea: <http://infomadera.net/images/11506.pdf>

- Weier J. y D. Herring. 2007. Measuring Vegetation (NDVI and EVI). Disponible en: <http://earthobservatory.nasa.gov/Library/MeasuringVegetation/>
- Yáñez-Arancibia A. 1999. Terms of reference towards coastal management and sustainable development in Latin America: introduction to Special Issue on progress and experiences. *Ocean and Coastal Management* p. 77-104.
- Yáñez-Arancibia A. y A. L. Lara-Domínguez. 1999. Los manglares de América Latina en la encrucijada, p.9-19 En: Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez. *Ecosistemas de Manglar en América Tropical*. Instituto de Ecología, A.C. México, UICN/Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. 380 pp.

- Weier J. y D. Herring. 2007. Measuring Vegetation (NDVI and EVI). Disponible en: <http://earthobservatory.nasa.gov/Library/MeasuringVegetation/>
- Yáñez-Arancibia A. 1999. Terms of reference towards coastal management and sustainable development in Latin America: introduction to Special Issue on progress and experiences. *Ocean and Coastal Management* p. 77-104.
- Yáñez-Arancibia A. y A. L. Lara-Domínguez. 1999. Los manglares de América Latina en la encrucijada, p.9-19 En: Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez. *Ecosistemas de Manglar en América Tropical*. Instituto de Ecología, A.C. México, UICN/Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. 380 pp.