



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

“FUNCIÓN ECOSISTEMICA DEL MANGLAR COMO ESTABILIZADOR DE LA LÍNEA DE COSTA EN QUINTANA ROO”

TESIS

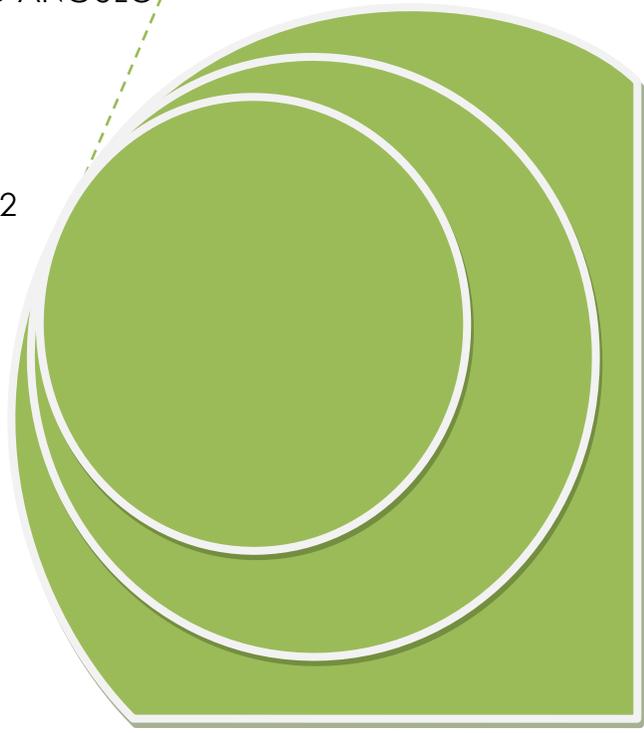
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA

DAVID GÓMEZ PALACIOS

ASESOR: DR. EDUARDO REINOSO ANGULO

México D.F. Junio, 2012





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

“El monte y el río”

En mi patria hay un monte.
En mi patria hay un río.

Ven conmigo.

La noche al monte sube.
El hambre baja al río.

Ven conmigo.

¿Quiénes son los que sufren?
No sé, pero son míos.

Ven conmigo.

No sé, pero me llaman
y me dicen “sufrimos”.

Ven conmigo.

Y me dicen: “Tu pueblo,
tu pueblo desdichado,
entre el monte y el río,

Con hambre y con dolores,
no quiere luchar solo,
te está esperando, amigo”.

Oh tú, la que yo amo,
pequeña, grano rojo
de trigo,
será dura la lucha,
la vida será dura,
pero vendrás conmigo.

-Pablo Neruda-

Dedicatorias

A mis padres, Magdalena Palacios y Félix Gómez, por haber apoyado mi elección y mi aventura dentro de la UNAM, por forjar el hombre que soy; mi agradecimiento más sincero. Por su amor incondicional.

A mis abuelos maternos: Cayetano y Dolores y paternos: Librado y Margarita, por haberse esforzado tanto durante su vida, por abandonar los bellos bosques de Oaxaca buscando darle una mejor vida a sus hijos y nietos. Este trabajo lo dedico a Ustedes.

A mi tía Elvira Palacios, por ser como una segunda madre. A mis hermanos Jimena y René, así como a mi prima María Palacios, por ser una hermana para mí.

A Rocky (†) por ser mi mejor amigo en mis últimos años de la infancia, mi adolescencia y a lo largo de mi carrera universitaria.

Al Dr. Eduardo Reinoso Angulo por brindarme la oportunidad de ingresar al Instituto de Ingeniería como becario, tesista y geógrafo. Gracias por su paciencia y dirigir este trabajo.

A la Dra. María Luisa Andrea Raz-Gúzman Macbeth por ser mi profesora de "Hidrobiología", por enriquecer este trabajo con sus observaciones y toda la confianza y paciencia brindada,

A la Dra. Gabriela Vera, por enriquecer este trabajo con sus observaciones, aunque no haya podido ser parte del jurado.

Al Mtro. José Manuel Espinoza Rodríguez, la Mtra. Johanna Morales Whitney y la Mtra. Angélica Margarita Franco González por aceptar ser parte del sínodo de este trabajo.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la oportunidad de optar por una carrera profesional y darme la oportunidad de que mi trabajo ayude a las necesidades ambientales y sociales de mi país.

Al Instituto de Ingeniería de la UNAM, por permitirme ser becario, tesista y geógrafo dentro de la Torre de Ingeniería,

A la Licenciatura en Biología, la Licenciatura en Urbanismo y las Ingenierías Civil y Geológica por permitirme ser alumno dentro de sus carreras y ampliar mi visión científica y profesional, además de brindarme las herramientas que han sustentado mi corta experiencia profesional.

Al Colegio de Geografía, por permitirme conocer mi país, su belleza y su realidad, sus necesidades y sus recursos, desde aquel primer amanecer en Acapulco, las paleodunas de Altamira en Tamaulipas, los recorridos por las coladas de lava en el volcán Parícutin, el lago de Chápala y los Altos de Jalisco, la vista de los volcanes desde Amecameca, los paisajes kársticos de Guerrero, el ascenso al cerro de la Silla en Monterrey, las caminatas por el desierto de Tehuacán-Cuicatlán, la travesía por San Blas-Mazatlán, el viaje en *ferry* por el Mar de Cortés y las noches estrelladas a lo largo de Baja California Sur, los recorridos en panga avistando ballenas, orcas, delfines y rayas en Bahía Banderas, el puerto de Veracruz, Peña de Bernal en Querétaro, el río Soto la Marina en Tamaulipas, el mágico recorrido por la Península de Yucatán y el Mar Caribe y el recorrido a lo largo del Cañón del Sumidero en Chiapas, así como también agradezco la oportunidad que me brindaron las materias de Hidrobiología y Recursos Naturales en la Facultad de Ciencias para acompañarlos a sus recorridos a la Laguna de Alvarado, Veracruz y los Valles Centrales de Oaxaca, respectivamente. Finalmente a la materia Riesgos Volcánicos de la Facultad de Ingeniería por brindarme la oportunidad de recorrer el Popocatepetl e Itztacíhuatl desde un enfoque de riesgo y vulnerabilidad.

A mis profesores de la carrera, muy especial quiero dedicarlo a la Lic. Tobyanne Berenberg por compartir su visión del mundo con nosotros e inculcarnos un amor muy profundo por África y Nuestra América; al Dr. Álvaro Sánchez Crispín, al Mtro. Francisco Enríquez Denton por creer en mí, al Dr. Álvaro López López, Mtro. Arturo Sánchez Iturbe por todo el conocimiento oceanográfico compartido, a la Mtra. Estela Rangel, al Mtro. Sergio Yussim. Así como a mis profesores de Biología: la Dra. Andrea Raz-Gúzman, la Mtra. Virginia Cervantes, de Geología, el Dr. Hugo Delgado Granados por permitirme conocer más sobre el apasionante mundo de

los Riesgos Volcánicos y finalmente al Urb. Ricardo Vega por adentrarme en el mundo de los SIG.

A Alejandro Morales y Navil Sánchez por ser mis mejores amigos, por estar conmigo en los buenos y sobre todo en los más duros momentos de mi vida, por nunca darme la espalda. Por su amistad y su cariño, gracias.

A Bertha Hernández, Italivi Lara, Fabiola Hernández, Héctor Curiel, Miguel Ángel Pérez, Gerardo Rodríguez, Adrián Hernández Santisteban, Marcel Fezay, Rita García, Julia Ortega, por ser mis amigos a lo largo de la carrera y aun después de ella. Por todas las experiencias y momentos.

A mis amigos de la Licenciatura en Biología: Gustavo Ibrahim Giles, Ernesto Llamas Pámanes, Lidia García Rodríguez y Verónica Zúñiga Campos, gracias por dejarme sentirme parte de ustedes y enseñarme un poquito de su ciencia

A Juan Aguirre por ser mi maestro y amigo, por compartir todos sus conocimientos de SIG conmigo y ayudarme a conseguir mi primer trabajo.

A mis amigos de la Torre de Ingeniería, Eder Huidobro, Ricardo Carlos Padilla y Edgar Mendoza, así como a los buenos amigos de Corporación Ambiental de México A.C: Yunuen Sevilla, Alejandra Sevilla, Sofía Sánchez, Carmen Trejo, Luis Ángel Jiménez y Perla Rodríguez, gracias por compartir conmigo sus conocimientos en Biología e Ingeniería Ambiental, Civil y Geológica. Mención aparte, por confiar en mí y permitirme ser parte de *Ecomap Solutions* también dedico esta tesis a mi amigo y colega en California, Luis Barragán.

A Miguel Alexander Abreu Camilo (:3 por haber cerrado con broche de oro mi estancia en la Universidad y acompañarme a dar mis primeros pasos en el mundo profesional. Por el amor, la amistad y los buenos recuerdos.

Grandes e intensos momentos he pasado en los últimos dos años para no mencionar con cariño a Pamela Stella Hernández, Oscar Alejandro Escobedo, Leonardo Pedroza y Emmanuel Díaz. Gracias por todos los buenos momentos, el consejo y sobre todo el apoyo en los momentos más difíciles.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1. MARCO TEÓRICO: HACÍA UN TERCER ENFOQUE

1.1	Diseño de la investigación	
1.1.1	Definición del problema.....	1
1.1.2	Objetivos generales.....	2
1.1.3	Objetivos específicos.....	2
1.1.4	Hipótesis.....	2
1.2	Marco Teórico	
1.2.1	La Geografía y el espacio geográfico.....	3
1.2.2	Riesgo y vulnerabilidad.....	3
1.2.3	"Desastres naturales".....	6
1.2.4	Desastres naturales y ecología.....	8
1.2.5	Un tercer enfoque: los servicios ecosistémicos.....	10
1.2.6	El valor de los servicios ecosistémicos y su manejo en la gestión de riesgos naturales.....	13

Capítulo 2. ZONAS DE ESTUDIO

2.1	Quintana Roo.....	16
2.1.1	El litoral de Quintana Roo.....	16
2.2	Áreas de estudio.....	19
2.2.1	Reserva de la Biosfera Sian Ka'an.....	20
2.2.2	Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro.....	25

Capítulo 3. ECOSISTEMA DE MANGLAR Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

3.1	El ecosistema como unidad espacial.....	35
3.1.1	La zona intermareal.....	35
3.1.2	Los humedales costeros y la vegetación.....	37
3.2	Importancia del ecosistema de manglar.....	38
3.2.1	Ecología del manglar.....	38
3.2.2	Zonación del manglar.....	41
3.3	Servicios ecosistémicos de regulación del manglar.....	42
3.3.1	Evidencias geológicas de las funciones ecosistémicas del manglar.....	44

3.3.2	Arrecifes de coral y su relación con los manglares.....	47
3.4	Los manglares en México.....	50
3.4.1	Morfología de las especies de mangle en México.....	53
3.4.2	Marco jurídico en México para la protección y conservación del manglar.....	56
 Capítulo 4. EL LITORAL		
4.1	El litoral.....	58
4.1.2	Importancia de los riesgos litorales.....	59
4.1.3	La línea de costa en México.....	60
4.2	Procesos que actúan sobre la línea de costa (Identificación de riesgos en el Caribe mexicano).....	63
4.2.1	Fenómenos con alta frecuencia y alta intensidad.....	63
4.2.1.1	Oleaje.....	63
4.2.1.2	Mareas.....	64
4.2.1.3	Corrientes marinas.....	65
4.2.2	Fenómenos con baja frecuencia y alta intensidad.....	67
4.2.2.1	Sísmicidad y vulcanismo.....	67
4.2.2.2	Huracanes y depresiones tropicales.....	67
4.2.2.3	Marejada de tormenta.....	75
4.2.2.4	Tsunamis.....	79
 CONCLUSIONES		
C	Experiencias mundiales.....	83
C.1	El tsunami del Océano Índico como parteaguas en los servicios ecosistemicos.....	84
C.2	Manglares como estabilizadores de la línea de costa.....	87
C.2.1	Ventajas.....	89
C.2.2	Desventajas.....	90
 BIBLIOGRAFÍA.....		
		91

Índice de Figuras

Figura 1.1. Erupciones volcánicas.....	4
Figura 2.1. Sian Ka'an, de etimología maya significa "regalo o hechizo del cielo".....	21
Figura 2.2. Relación y ocupación del espacio entre los arrecifes coral con los manglares.....	23
Figura 2.3. Esquema idealizado sobre la distribución y sucesión horizontal de la vegetación en Sian Ka'an.....	25
Figura 2.4. Vista de la franja de manglar (desfoliado), palmeras y vegetación hidrófila al interior del Cayo Central desde el faro de la isla.....	30
Figura 2.5. Esquema idealizado sobre la distribución y sucesión horizontal de la vegetación en Banco Chinchorro.....	32
Figura 3.1. Raíces de mangle.....	36
Figura 3.2. Hoja de <i>Avicennia germinans</i> exudando cristales de sal.....	40
Figura 3.3. El ecosistema de manglar como hábitat para especies terrestres y marinas.....	41
Figura 3.4. Morfología de las especies de manglar presentes en México.....	54
Figura 3.5. Características de las ramas, flor y frutas de las especies de mangle en México.....	55
Figura 4.1. Acantilado en la costa de Tulum, Quintana Roo.....	58
Figura 4.2. Vista parcial de la cobertura de manglar tras el paso del huracán <i>Dean</i> en el 2007.....	75
Figura C1. Evolución del tsunami de 2004 (relación altura de la ola/tiempo).....	85
Figura C.2. Ecosistema de manglar tras el paso del huracán <i>Dean</i> (2007) en Banco Chinchorro.....	87
Figura C.3. Estabilización de la línea de costa tras el paso del huracán <i>Dean</i> (2007) en Banco Chinchorro.....	88
Figura C.4. Ejemplar de <i>Crocodylus acutus</i> en Banco Chinchorro.....	89

Índice de Cuadros

Cuadro 1.1. Clasificación de los "servicios ecosistémicos" de acuerdo al marco conceptual de <i>Millenium Ecosystem</i>	12
Cuadro 1.2. Clasificación de los "servicios de regulación", de acuerdo al marco conceptual de <i>Millenium Ecosystem</i>	12
Cuadro 2.1. Áreas Naturales Protegidas de Quintana Roo y categorías de manejo.....	19
Cuadro 2.2. Geomorfología y superficie (ha) de las formaciones coralinas en la Reserva de la Biosfera SianKa'an.....	22
Cuadro 2.3. Esquema comparativo en relaciones a las formaciones arrecifales de acuerdo a su geomorfología.....	22
Cuadro 2.4. Llave climática para los tipos de climas localizados dentro de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.....	24
Cuadro 2.5. Geomorfología y superficie (ha) de las formaciones coralinas en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro.	27
Cuadro 2.6. Esquema comparativo en relaciones a las formaciones arrecifales de acuerdo a su geomorfología en Banco Chinchorro.....	28
Cuadro 2.7. Llave climática para los tipos de climas localizados dentro de la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro.....	28
Cuadro 2.8. Inventario florístico para Banco Chinchorro.....	30
Cuadro 3.1. Riqueza de plantas vasculares en México.....	50
Cuadro 3.2. Superficie del ecosistema de manglar a nivel estatal (en ha).....	53
Cuadro 4.1. Comparación del frente litoral de los 17 estados costeros de la República Mexicana.....	60
Cuadro 4.2. Descripción de las características de un huracán de acuerdo con la escala de Saffir-Simpson.	68
Cuadro 4.3. Huracanes y depresiones tropicales que han tocado tierra en el estado de Quintana Roo. Fuente: NOAA.....	70
Cuadro 4.4. Huracanes y depresiones tropicales que han tocado tierra en el estado de Quintana Roo. Fuente: NOAA.....	73
Cuadro 4.5. Huracanes y depresiones tropicales que han tocado tierra en la Reserva de la biosfera de Sian Ka'an. Fuente: NOAA.....	76

Cuadro 4.6. Huracanes y depresiones tropicales que han tocado tierra en la Reserva de la biosfera Banco Chinchorro. Fuente: NOAA.....76

Índice de Mapas

Mapa A. "El litoral de Quintana Roo".....	18
Mapa B. Reserva de la biosfera de Sian Ka'an.....	24
Mapa C. Reserva de la biosfera Banco Chinchorro.....	29
Mapa D. Distribución global de ecosistemas de manglar.....	39
Mapa E. Distribución global de ecosistemas de coral.....	49
Mapa F. Humedales y manglares.....	52
Mapa G. La línea de costa en México.....	61
Mapa H. Corrientes marinas en el mar Caribe.....	66
Mapa I. Huracanes.....	72
Mapa J. Marejada de tormenta (registro por huracanes).....	78
Mapa K. Tsunamis y riesgos geológicos en el Caribe.....	81

1.1 Diseño de la investigación

1.1.1 Definición del problema

La alta incidencia histórica y reciente de los riesgos costeros en el litoral mexicano, especialmente en la costa de Quintana Roo, ha sido evaluada mediante diversas investigaciones que revelan la susceptibilidad de la región ante diversos procesos naturales de la región, especialmente los huracanes y tormentas tropicales. Cabe destacar que esta región se caracteriza por presentar un alto grado de vegetación conservada, incluyendo el ecosistema de manglar, con 64,755 ha (SEMARNAT, 2009), además de una línea de costa mayor a los 865 km, en los cuales se asienta la mayor parte de la población, debido a las actividades turísticas de las que depende la economía del estado. Por su dinámica económica existe no sólo una alta transformación y ocupación del espacio litoral, sino también un alto índice de migración hacia esta zona, lo que conlleva a la destrucción y degradación de los ecosistemas litorales y por lo tanto el aumento de los índices de vulnerabilidad de la población asentada en la zona y por ende su alto nivel de riesgo.

Por otro lado se han hecho investigaciones de forma puntual de algunos de los municipios que han sido afectados por eventos hidrometeorológicos, especialmente en los últimos años, debido al toque de tierra de los huracanes *Gilberto* en 1988, *Emily*, *Stan* y *Wilma* en 2005 y el huracán *Dean* en 2007. Se ha demostrado la alta susceptibilidad de las líneas de costa, pero al mismo tiempo se ha comprobado que el ecosistema de manglar, tras el paso de algún evento hidrometeorológico, si bien es afectado en su estructura y funcionalidad, mantiene estable la línea de costa. Este hecho es particularmente más visible en las numerosas áreas naturales protegidas del estado: Banco Chinchorro, Arrecifes de Xcalak, Sian Ka'an, Isla Holbox, etc. Sin embargo, dichas referencias son solamente textuales y hasta el momento pocos estudios han abordado el tema para entender la función del ecosistema de manglar como estabilizador de la línea de costa y por lo tanto reductor de riesgos naturales y vulnerabilidad humana, esto ha llevado a la necesidad de la elaboración de este estudio en dos zonas de la costa de Quintana Roo a mayor detalle y que a continuación se definen. A través del entendimiento del "enfoque ecosistémico" se pretende reducir el impacto de algunas amenazas, a través de un enfoque nuevo e integrador, como es el que se aborda.

1.1.2 Objetivos generales

- 1.- Análisis y modelación de dos sitios de ecosistema de manglar en la costa de Quintana Roo (Reservas de la Biosfera de Sian Ka'an y Banco Chinchorro)
- 2.- Caracterizar los mecanismos de estabilidad del ecosistema de manglar en la línea de costa ante fenómenos hidrometeorológicos extremos y erosivos.

1.1.3 Objetivos específicos

- 1.- Cuantificación y caracterización de mecanismos de estabilidad en el ecosistema de manglar mediante sus funciones ecosistémicas
- 2.- Identificar los riesgos litorales a los que está expuesta la línea de costa de estudio, así como establecer los valores de intensidad y periodo para éstos.
- 3.- Elaboración de la cartografía detallada (mapa de cobertura vegetal, riesgos/amenazas y escenarios) del ecosistema de manglar en la costa del Caribe mexicano y los lugares de estudio elegidos.

1.1.4 Hipótesis

Los servicios ecosistémicos del manglar como estabilizador de la línea de costa proporcionan a las sociedades un nuevo enfoque en el cual se busca la integración de las funciones de los ecosistemas como una forma de reducir su vulnerabilidad ante los procesos (riesgos naturales) que actúan sobre la línea de costa.

1.2 Marco Teórico

1.2.1 La Geografía y el espacio geográfico

La Geografía es la ciencia encargada de analizar el espacio geográfico, éste último definido ampliamente por diferentes autores y enfoques, pero entendido en este trabajo como el “paisaje construido”, donde hay una interacción de elementos naturales y humanos que están en un proceso de constante dialéctica. Milton Santos (2000)¹ define el espacio geográfico como “la transformación de un sistema de cosas (naturaleza) a un sistema de objetos (espacio socialmente construido) a través del sistema de acciones (sociedades humanas)” Sin embargo, no se puede abordar un problema espacial solamente desde la variable humana, puesto que se excluyen los fenómenos naturales que ocurren en el espacio, y éstos, a su vez, determinan las condiciones del medio físico y las adaptaciones de las sociedades humanas al medio, al mismo tiempo que el humano transforma el espacio natural: lo construye.

Los problemas relevantes que actualmente se manifiestan en el planeta son tanto sociales como ambientales (cambio climático, sobre explotación de recursos naturales, degradación del medio ambiente, por mencionar algunos), por lo tanto no pueden estudiarse de manera sesgada o por una sola disciplina. De esta manera, los estudios más recientes se han hecho de manera interdisciplinaria y bajo diferentes enfoques.

1.2.2 Riesgo y vulnerabilidad

El estudio de los desastres naturales, ha sido un tema complejo y polémico. En parte porque ha sido abordado desde diferentes enfoques a lo largo del tiempo: ciencias naturales, exactas, sociales y ramas de la ingeniería se han encargado de contribuir a la investigación de estos eventos.

Los fenómenos naturales siempre han existido y forman parte de la dialéctica del paisaje, erupciones volcánicas, huracanes, procesos de ladera, terremotos, tornados, por mencionar algunos (*Figura 1.1*) Pero, para cualquier estudio es indispensable tomar en cuenta la variable humana. La presencia humana en el espacio geográfico conlleva que esta se encuentre en convivencia con diversas “amenazas”(se refiere a los eventos naturales percibidos por las sociedades que pueden afectar diferentes sitios singularmente o en combinación, fenómenos

geofísicos/fenómenos naturales, en diferentes épocas, estación del año, hora del día, sobre diferentes periodos de retorno, de diferente duración) La amenaza tiene diferentes grados de intensidad y severidad, mismas que en algún momento pueden llegar a convertirse en un “riesgo” (función compuesta de la “amenaza” y “vulnerabilidad”) Así pues:

Riesgo= Amenaza + Vulnerabilidad. (Blaikie, 1996)²

Cuando el riesgo se materializa, en tiempo y espacio, y tiene repercusiones sobre el individuo o una sociedad entonces se transforma en un “desastre natural” Los riesgos y desastres naturales ocurren alrededor de todo el mundo, sin embargo; la frecuencia, consecuencias y repercusión tienen una trascendencia variable para los individuos en sus diferentes espacios geográficos, por lo tanto es una cuestión de escalas, de lo local a lo regional, y de las características del sistema político-económico y socio-cultural, en tiempo y espacio de cada lugar. De acuerdo con lo anterior, la trascendencia de los desastres naturales es menor en los países, regiones y espacios con mayor desarrollo (y estabilidad) económica, donde hay una mayor cultura de prevención, tanto de parte del Estado como de la sociedad que, a la vez, tiene la capacidad de hacer frente a las contingencias, aunque, paradójicamente, es en estos espacios donde los daños económicos son los más altos de todos, debido al alto grado de transformación tecnológica y de infraestructura del paisaje, como bien quedó demostrado en los terremotos de los Ángeles (1984 y 1987), Tokio (2011) y la ruptura de los diques tras el huracán *Katrina* en Nueva Orleans (2005). Además, debido a la trascendencia económica que estos eventos suelen tener sobre la región o el Estado, se trata también de transferir a las sociedades responsabilidad sobre su propia vulnerabilidad.



Figura 1.1. Las erupciones volcánicas, aunque menos frecuentes, son algunos de los riesgos más estudiados. *National Geographic*

Entender la naturaleza de los fenómenos naturales es un objetivo multidisciplinario. Sin embargo; un fenómeno natural no es lo mismo que desastre, por lo que la comprensión de los primeros no necesariamente significa una reducción en los daños y consecuencias a las sociedades. Esto condicionó (y continúa en algunos países) la investigación sobre los riesgos

naturales de manera que la primicia se ha otorgado generalmente al estudio de los fenómenos físicos en detrimento de los humanos (*Bankoff, 2004*) Así, *Gilbert White (2004)* señaló que la tecnificación y construcción de grandes obras de ingeniería no serían capaces *per se* de eliminar los riesgos, y mucho menos los desastres naturales, pues estos sólo tienen sentido como resultado de las interacciones entre la sociedad y sus acciones sobre el medio.

Según *Michael Watts (1983)*³, todos los riesgos han de contemplarse desde la óptica de las relaciones sociales de producción, unas relaciones que no son históricamente estables sino que cambian y hacen cambiar la forma de apropiación de la naturaleza, el uso que de ella realizan las distintas clases sociales y, en consecuencia, el mayor o menor impacto de los riesgos. El mayor impacto de los desastres naturales guarda estrecha relación con el deterioro de las condiciones socioeconómicas y ambientales de cada espacio, de ahí la mayor afectación que sufren las clases sociales más pobres. La “vulnerabilidad”, ampliamente definida por un gran número de autores desde diferentes disciplinas y enfoques concuerdan que está condicionada por las características socio, político, económico de las sociedades y estas en relación con el medio con el que habitan, puesto que son estas condiciones las que influyen en la materialización de un “desastre natural”.

Ahora, las vulnerabilidades en el tejido de lo social van desde la mera individual (capacidad física y psicológica) para hacer frente a una situación de riesgo, hasta las colectivas que varían de acuerdo con el área afectada o propensa a ello. Se pueden identificar, de acuerdo con la propuesta de *Aysan (1993)*⁴ diferentes tipos de vulnerabilidad: material/económica, social, de organización, educacional, de aptitud y motivación, política, cultural y física; y podría extenderse según *Cannon (1993)*⁵ también a aspectos que se creían ya superados, pero que se han manifestado recientemente tras la inundación de Nueva Orleans por el huracán *Katrina* en el 2005: vulnerabilidad por clase y grupo étnico.

El riesgo ha estado presente en las sociedades de todas las épocas y constituye un magnífico escenario en el que se puede observar y analizar las relaciones que el humano establece con su medio. El riesgo expresa la faceta negativa de tales relaciones, en oposición al lado positivo constituido por los recursos, a través de los cuales las sociedades actualizan y se apropian de los múltiples beneficios que el medio también puede ofrecer.

En realidad ambos términos, recursos y riesgos, constituyen la vertiente antrópica y social de la naturaleza, en el sentido de que en su propia definición es

imprescindible la presencia humana; constituyen las dos dimensiones fundamentales que la naturaleza adopta –positiva o negativa, benevolente o mala- Cuando es utilizada y contemplada por el humano: positiva y benevolente en el caso de los recursos; negativa y malévol, en el de los riesgos. En las sociedades tradicionales, la gestión de los recursos ocupaba lo esencial de las interacciones hombre-medio; en las sociedades contemporáneas, ese beneficio se ha roto en beneficio de los riesgos. En primer lugar, porque en los últimos años las nuevas tecnologías han consagrado a la información como el gran recurso con que cuentan los grupos humanos para su instalación en el mundo, relegando a un segundo lugar los recursos ofrecidos por la naturaleza; además, porque este mismo avance tecnológico ha propiciado una intervención cada vez más potente sobre el medio, dando lugar a la aparición de nuevos riesgos o a la exacerbación de otros ya existentes. ⁶

1.2.3 “Desastres naturales”

De acuerdo con Alcántara (2001) antes de la aparición del *Homo sapiens* en la Tierra, el sistema de leyes naturales “regía” el planeta. Muchos eventos geofísicos como terremotos, erupciones volcánicas, procesos de remoción en masa e inundaciones tenían lugar afectando sólo a la flora y fauna. Millones de años después, la presencia del humano transformó los eventos geofísicos en “desastres naturales”. La transformación de estos eventos geofísicos a desastres naturales ocurrió de manera simultánea con la aparición del sistema humano, cuando los humanos comenzaron a interactuar con la naturaleza.

El sistema humano por sí mismo, está sujeto a significativas transformaciones, donde el concepto de trabajo y, por lo tanto, de división social del trabajo, relaciones de producción y económicas y sistemas políticos. Estas transformaciones y sus vínculos con el sistema natural han servido de marco con las amenazas y, por lo tanto, de los desastres naturales.

La percepción de los desastres naturales es una plétora de visiones, de acuerdo con las sociedades que habiten los lugares donde se materialicen los riesgos; así, la concepción de los desastres se construye con la identidad del sujeto y la sociedad con su espacio, la cosmovisión y su cosmología, las relaciones y transformación del hombre con su espacio y viceversa.

Como lo señala Lugo Hubp (2002)⁷ el humano no sólo ha poblado actualmente las zonas de riesgo del mundo, sino que éstas han crecido en el tiempo-espacio; lo mismo sucede con los espacios ocupados por construcciones y vías de comunicación. Así, la vulnerabilidad va en aumento; y los fenómenos naturales se

convierten en amenazas para un número mayor de personas y de espacios socialmente contruidos.

En lugar de disminuir los desastres naturales, como resultado de la experiencia y presencia del humano en el tiempo-espacio; estos tienden a aumentar con el sobre-crecimiento demográfico y la expansión de este fenómeno sobre el espacio geográfico. La situación tiende a agravarse en los países en vías de desarrollo como resultado de las políticas económico-políticas que llevan a los países a un desarrollo insostenible, basado en la explotación masiva de los recursos y el deterioro progresivo del medio físico en el proceso de "industrialización" dejando de lado las políticas sociales, ecológicas y de desarrollo urbano, haciendo que los asentamientos humanos aparezcan en zonas muy vulnerables debido a su condición de riesgo latente y ocupadas por su bajo valor de suelo. A este panorama debe sumarse el origen histórico de la vulnerabilidad, ya que los contextos históricos pueden explicar la explotación, marginación y pobreza de los países y regiones en vías desarrollo y su poca o nula política de prevención de desastres y planeación urbana.

Los desastres naturales, aunque con amplias definiciones, incluyen las características con un patrón de repetición siguiente (Alcántara, 2001; Blaikie, 1996):

- ❖ Son eventos repetitivos (algunas veces previstos) y predecibles a partir de una evaluación científica.⁸ (La mayoría de los fenómenos naturales pueden seguirse, trazarse y predecir su actividad futura basándose en la frecuencia de sucesos pasados, pautas de su incidencia y tipos de sucesos precursores)
- ❖ Representan alteraciones al funcionamiento del sistema social y natural, los cuales a su vez presentan diferentes grados de *resiliencia*.⁹
- ❖ Generan pérdidas económicas y sociales tangibles e intangibles en el espacio, además de alteraciones en el equilibrio de los ecosistemas.
- ❖ Su trascendencia supera la escala en que se producen, a través de las redes y flujos con el exterior.

La severidad y desequilibrio causado depende de la relación entre la magnitud del evento natural y la tolerancia humana al mismo (Alcántara, 2001)

1.2.4 Desastres naturales y la ecología

El punto de vista en que los humanos (y la ciencia) abordan los “desastres naturales” es fundamentalmente antropocéntrico. Ello es lógico a la vista de las tragedias humanas que asolan a las colectividades ante fenómenos naturales a menudo extremos. En los últimos años, algunos autores han introducido el concepto de “catástrofe” para referirse a un desastre masivo que requiere un gasto considerable de tiempo y dinero para su recuperación (*Keller, Edward y Blodgett, Robert, 2007*) Los seres humanos, al parecer, producto de la Edad de Hielo del Pleistoceno que comenzó hace más de 1.8 millones de años han tenido que adaptarse a esta época del Cenozoico y a la siguiente: el Holoceno a los constantes cambios ambientales. Estas épocas se han caracterizado por cambios climáticos rápidos: de las condiciones glaciares severas relativamente frías de hace unos cuantos miles de años a las condiciones interglaciares relativamente cálidas de la actualidad. El aprender a adaptarse a condiciones climáticas extremas y cambiantes ha sido necesario para la supervivencia del ser humano desde sus inicios. Sin embargo, estos fenómenos en los sistemas naturales, carentes por su propia naturaleza de visión o contenido moral alguno, desempeñan y han desempeñado un papel objetivo a lo largo de la historia evolutiva de la vida. Desde el punto de vista de la Ecología, estos fenómenos y sus interacciones sinérgicas se consideran perturbaciones que han formado parte de la dinámica de los ecosistemas y del ambiente en el cual han evolucionado las diferentes formas de vida (*Sousa, W.P., 1984*)¹⁰ Sin embargo, el contexto en el que ocurren estas perturbaciones naturales está cambiando debido a la influencia del ser humano sobre el ambiente y los ecosistemas, esto a su vez afecta la capacidad de los ecosistemas para amortiguar el impacto de las perturbaciones naturales y minimizar el riesgo de que se conviertan en desastres.

Charles Darwin en 1859, en el Capítulo III del “Origen de las Especies”, señaló cómo el clima y sus extremos así como las epidemias, tienen un claro papel en la selección natural de las mutaciones; denominadas por él variaciones, más adaptadas¹¹. A nivel de evolución social, el geógrafo *Huntington* (1924) apuntó el probable papel de los cambios climáticos naturales, principalmente las largas sequías plurianuales, en la trayectoria evolutiva de las civilizaciones desaparecidas, como la maya o las que ocupaban los actuales territorios del oeste de los EUA.¹²

Las perturbaciones naturales son eventos que ocurren de manera relativamente discreta en el tiempo y modifican el estado, el ambiente físico o la estructura de

un ecosistema, comunidad o población, reiniciando procesos de regeneración y sucesión. Generalmente, el efecto de las perturbaciones en la dinámica de los ecosistemas se ve de forma negativa porque existe una percepción popular, ampliamente difundida pero equivocada, de que los ecosistemas naturales o “bien conservados” se encuentran en una situación estable que ocasionalmente alteran las perturbaciones, lo que hace necesario poner en práctica medidas de prevención o remediación para minimizar los daños que estas causan. Así pues, la concepción actual es que los ecosistemas son dinámicos, se modifican continuamente, presentan cambios complejos, pueden estar en diferentes estados cercanos o no a la estabilidad, y las perturbaciones naturales tienen un papel importante en su funcionamiento. La evidencia científica también muestra que la diversidad biológica es resultado de procesos evolutivos en que las perturbaciones han actuado como fuerzas selectivas y como parte de los procesos ecológicos que mantienen, e incluso generan, patrones de variación espacial y temporal en la diversidad de ecosistemas, especies y poblaciones. (Manson H. Robert y Jardel P., Enrique J, 2009) ¹³

Históricamente, los ecosistemas han estado sujetos a regímenes de perturbación que se pueden caracterizar por distintos atributos, como su distribución espacial, superficie impactada, frecuencia (número de eventos por unidad de tiempo) y tasa de retorno (media de tiempo entre uno y otro), intensidad (cantidad de energía liberada por unidad de área y tiempo), naturaleza intrínseca (diferencias cualitativas entre tipos de perturbaciones) y las sinergias que se producen entre las perturbaciones dominantes (*Pickett y White 1985; White y Jentsch 2001* ¹⁴ Estos regímenes pueden cambiar considerablemente entre diferentes ecosistemas, y de hecho determinan en gran parte algunas de sus características, como la estructura y composición de la vegetación.

Incluso fenómenos indeseables a combatir que caen dentro de los desastres ecológicos como los vertidos del petróleo en el mar, son también procesos naturales frecuentes debidos al escape del petróleo por migración ascendente en el Golfo de México y Golfo Pérsico, procesos con los que aun así ha co-evolucionado la fauna marina.

Se trata de incluir actualmente en el Análisis para la Reducción del Riesgo la dimensión ambiental a la hora de seleccionar estrategias para abordar algún tipo de riesgo. Esta perspectiva es coherente con la constatación del papel que corresponde tanto a la continuidad como a las crisis en la historia ecológica o en la propia historia geológica, según se ha puesto de relieve el neo catastrofismo

(Pedraza, 1996)¹⁵ la funcionalidad de estas catástrofes, muchas de ellas fuera del alcance de nuestras capacidades de intervención, es a menudo ambivalente.

1.2.5 Un tercer enfoque: los servicios ecosistémicos

La humanidad siempre ha dependido de los servicios que presta la Biosfera y sus ecosistemas. Más aún, la biosfera es en sí misma el resultado de la vida en la Tierra. La composición de la atmósfera y el suelo, el ciclo de los elementos a través del aire y el agua, y muchos otros bienes ecológicos son el resultado de procesos biogeoquímicos. Un ciclo biogeoquímico es la transferencia o circulación de un elemento o elementos a través de la atmósfera, hidrosfera, litosfera y biosfera. Un ecosistema es un complejo dinámico de comunidades de plantas, animales y microorganismos y el medio ambiente inorgánico, que interactúan como una unidad funcional. Al explotar de manera incesante los recursos que ofrece la naturaleza, el ser humano se ha convertido en una potencia capaz de interferir en los grandes ciclos del planeta, de transformar el ordenamiento de la biosfera y de provocar un calentamiento global que amenaza el bienestar de las sociedades futuras.¹⁶ Los seres humanos son parte integral de los ecosistemas. Si bien la cultura y la tecnología permiten a la humanidad amortiguar el contacto inmediato con el medio ambiente, en definitiva nuestra especie depende plenamente del flujo de los servicios que prestan los ecosistemas. A diferencia de la idea antropocéntrica que ha imperado desde la Edad Media, los humanos, si bien modifican el medio ambiente y han creado ecosistemas artificiales, esto no los excluye de los grandes procesos geofísico-químicos que ocurren en el planeta, puesto que dependen de ellos y obtienen recursos de su medio ambiente.

En los últimos 50 años, los seres humanos han transformado los ecosistemas más rápido y extensamente que en ningún otro período de tiempo de la historia humana con el que se pueda comparar, en gran medida para resolver rápidamente las demandas crecientes de alimentos, agua dulce, madera, fibra y combustible. Esta transformación del planeta ha aportado considerables beneficios netos para el bienestar humano y el desarrollo económico. Pero no todas las regiones ni todos los grupos de personas se han beneficiado de este proceso – de hecho, a muchos les ha perjudicado-. Además, sólo ahora se están poniendo de manifiesto los verdaderos costos asociados con esos beneficios. (*Milenium Ecosystem -MA-*)

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM) fue solicitada en el año 2000 por Kofi Annan, Secretario General de las Naciones Unidas en dicho año, en un

informe a la Asamblea General titulado “*Nosotros los pueblos: la función de las Naciones Unidas en el siglo XXI*”. Iniciada en 2001, el objetivo de esta iniciativa fue evaluar las consecuencias de los cambios en los ecosistemas sobre el bienestar humano, y las bases científicas para las acciones que se necesita emprender a fin de reforzar la conservación y el uso sostenible de esos sistemas y su contribución al bienestar humano. En la Evaluación participaron más de 1,360 expertos de todo el mundo. Las conclusiones acerca de la condición de y las tendencias en los ecosistemas, los escenarios para el futuro, las posibles respuestas, y las evaluaciones a nivel regional y local se presentan en volúmenes técnicos agrupados alrededor de esos cuatro temas principales.

El concepto de ecosistema ofrece un marco valioso para analizar e intervenir en los vínculos que existen entre los humanos y el medio ambiente. El enfoque ecosistémico es una estrategia para el manejo integrado del suelo, el agua y los recursos orgánicos que promueve la conservación y el uso sostenible en términos equitativos. Este enfoque reconoce que los humanos, con su diversidad cultural, son parte integral de muchos ecosistemas.

Hay muchas formas de clasificar los servicios ecosistémicos. Se usa el término de “servicios” para agrupar los beneficios tangibles e intangibles que los humanos obtenemos de los ecosistemas, los cuales comúnmente son separados en “bienes o recursos naturales” y “servicios”. La investigación por lo tanto de los servicios ambientales es reciente, aunque ha tendido a aumentar en las últimas décadas (ejemplo *Costanza et al. 1997; Daily 1997; Dail et al. 2000; de Groot et al, 2002*) De acuerdo a EM debe considerarse tanto bienes y servicios dentro de una misma categoría debido a la dificultad para disgregar estas categorías y darle límites o fronteras. Igualmente hay muchas formas de categorizar los servicios ecosistémicos, pero en este trabajo se adopta la categorización de EM, la cual usa las categorías de provisión, regulación, cultural y servicios de soporte. (Cuadro 1) Los servicios ecosistémicos son los beneficios que los humanos obtienen de los ecosistemas. Estos incluyen el aprovisionamiento de servicios como alimento y agua, servicios de regulación como el control de enfermedades e inundaciones, servicios culturales como espirituales, recreacionales y beneficios culturales; y servicios de soporte, como los ciclos de nutrientes, que mantienen las condiciones de vida en el planeta.

A partir de los variados tipos de ecosistemas, las poblaciones humanas obtienen diferentes tipos de beneficios. La capacidad para suministrar estos beneficios depende de complejas interacciones biológicas, químicas y físicas que a su vez son afectadas por las actividades humanas.¹⁷

Capítulo 1. MARCO TEÓRICO: HACÍA UN TERCER ENFOQUE



Cuadro 1.1. Clasificación de los "servicios ecosistémicos" de acuerdo al marco conceptual de Millenium Ecosystem

Dentro de este trabajo, los servicios de regulación, de acuerdo a la clasificación de EM son los siguientes (Cuadro 1.2):



Cuadro 1.2. Clasificación de los "servicios de regulación", de acuerdo al marco conceptual de Millenium Ecosystem

Así pues, para este trabajo interesan el Control de la Erosión y la Protección ante eventos hidrometeorológicos. La primera definida como la protección que representa la cobertura vegetal como retenedor del suelo, la reducción de la erosión laminar por agua y la prevención de procesos de remoción en masa. La segunda está caracterizada como la presencia de ecosistemas costeros como manglares, pastos marinos, arrecifes de coral pueden reducir dramáticamente el impacto de fuertes vientos, huracanes, grandes olas, marejadas de tormenta y tsunamis.

1.2.6 El valor de los servicios ecosistémicos y su manejo en la gestión de riesgos naturales

Los flujos de los servicios ecosistémicos no tienen fronteras (naturales o humanas) y son a menudo, pobremente regulados o manejados: las consecuencias de las actividades humanas realizadas en un lugar pueden no ser tangibles en ese espacio sino en otro, como la contaminación río abajo.

La valoración de los servicios ambientales tiene que llevarse a cabo de manera local, regional y mundial y tiene que ser capaz de valorar los servicios que obtenemos de los ecosistemas con otros bienes y servicios.

Una estimación de los “servicios prestados” por la naturaleza confirma su inconmensurable valor. En 1997, el economista *Robert Constanza* y su equipo estimaron la totalidad de los beneficios que los ecosistemas del planeta brindaron a la humanidad en unos 33 billones de dólares anuales. El enfoque del valor económico abarca el conjunto del sistema. Ese cálculo demuestra que el valor del capital natural es superior al PIB mundial anual, que ronda los 18 billones de dólares por año. El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) calculó el aporte económico anual de los manglares y arrecifes de corales en un monto estimado entre 20,000 y 90,000 dólares por kilómetro cuadrado, según las regiones.¹⁸

Hay una evidencia probada pero insuficiente de que los cambios que se están haciendo en los ecosistemas están aumentando la probabilidad de que se produzcan en ellos cambios no lineales (incluyendo cambios acelerados, bruscos, y potencialmente irreversibles), con importantes consecuencias para el bienestar humano. Por lo general, los cambios en los ecosistemas se dan de forma gradual. Sin embargo, algunos cambios son no lineales: una vez traspasado un umbral, el sistema pasa a un estado muy diferente. Y estos cambios no lineales son a veces

bruscos; pueden también ser de gran magnitud y difíciles, caros o imposibles de revertir. Las capacidades de predecir algunos cambios no lineales están mejorando, pero en el caso de la mayoría de los ecosistemas y de la mayoría de los cambios no lineales potenciales, si bien la ciencia puede con frecuencia prevenir sobre el creciente riesgo de cambio, no puede predecir los umbrales en los que se producirá.

Según la ética dominante de las sociedades productivistas, el medio ambiente está fuera de nosotros. La sociedad y la naturaleza se perciben de manera más o menos independiente la una de la otra. Los perjuicios que se le infringen se consideran “daños colaterales”, como si el medio ambiente hubiera permanecido mucho tiempo en la periferia de la conciencia moderna. Los indicadores clásicos de creación de riqueza, tales como crecimiento y PIB, reflejan este enfoque utilitarista y no toman en cuenta las tasas de erosión de los recursos y de la acumulación de residuos. En su actual estado, el sistema productivista trata a la naturaleza como una simple área de extracción y un producto desechable de la economía. Lo que está bajo juego requiere que se invierta la perspectiva: integrar a la economía a los límites del medio ambiente y dejar de considerar a la naturaleza como fuente inagotable de crecimiento económico.¹⁹

En México y otros países de América Latina el enfoque principal frente a estos desastres ha cambiado de un esquema fundamentalmente reactivo a uno de carácter preventivo, donde se busca entender mejor las amenazas y los factores de riesgo, y el desarrollo de métodos para detectarlas, predecirlas y mitigarlas. (La década de 1990 declarada por la Organización Mundial de las Naciones Unidas como la Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (DIRDN), sirvió para aumentar la atención en los “desastres naturales” en los países en vías de desarrollo y manejarlos desde distintas fases: prevención, mitigación, emergencia, rehabilitación, recuperación y reconstrucción) Sin embargo, en este paradigma de “amenazas” o eventos puntuales de corto plazo se ignora el deterioro progresivo de las condiciones ambientales, lo cual ha resultado en una percepción de los desastres como algo que precisamente resulta de las perturbaciones naturales y que minimiza el papel de los humanos como factor de cambio de la frecuencia, severidad e impacto económico de estos eventos.²⁰

Esta percepción es aún más problemática por el hecho de que cada vez hay más evidencia de que los servicios ambientales proporcionados por los ecosistemas ayudan a reducir el riesgo y amortiguan los impactos de los desastres naturales. Un número creciente de estudios documentan el enorme valor económico de los servicios derivados del buen funcionamiento de los ecosistemas

naturales y las consecuencias de su remplazo o deterioro por las actividades humanas.

Por las características particulares de su geografía, el territorio de México está expuesto a una gran variedad de fenómenos naturales, como huracanes, tormentas tropicales, inundaciones, sequías, incendios forestales, procesos de remoción en masa, terremotos y erupciones volcánicas, que llegan a convertirse en desastres cuando causan daño a las poblaciones humanas y afectan su economía e infraestructura (CENAPRED, 2001) Como consecuencia del “cambio climático global” y la transformación del medio geográfico por el humano, se prevé un aumento en la frecuencia y severidad de fenómenos como ciclones, sequías o incendios, lo cual actuará de manera sinérgica con el deterioro ambiental, la transformación del paisaje y las alteración de los regímenes de perturbación naturales o históricos causados por las actividades humanas. Esto a su vez afectara la capacidad de los ecosistemas para amortiguar el impacto de las perturbaciones naturales y minimizar el riesgo de que se conviertan en desastres.

El probable aumento en los desastres causados por fenómenos naturales implicará cada vez mayores costos socioeconómicos para México y en la conservación de la diversidad biológica del país. La naturaleza y magnitud de tales efectos es objeto de controversia, sobre todo en cuanto a la toma de decisiones acerca de su manejo, debido a que aún no se conocen suficientemente las complejas relaciones entre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas, y de cómo influyen en estas las perturbaciones a diferentes escalas espaciales y temporales.

2.1 Quintana Roo

El estado de Quintana Roo tiene una extensión de 42 361 km², el 2.2% del territorio nacional, en el cual habita una población de 1 325 578 habitantes (según el Censo 2010, INEGI)¹ De dicha cantidad 673 220 son hombres y 652 578 son mujeres; esto corresponde al 1.1% del total del país, de está, el 86% es urbana y el 14 % rural, distribuida en 10 municipios: ocho de ellos costeros (Bacalar, Benito Juárez, Felipe Carrillo Puerto, Isla Mujeres, Lázaro Cárdenas, Othón Pompeyo Blanco, Solidaridad y Tulum), uno continental (José María Morelos) y uno insular (Cozumel)²

El territorio del estado se encuentra, de acuerdo a la regionalización de INEGI, dentro de la provincia fisiográfica Península de Yucatán. Debido a la configuración geomorfológica de la península de Yucatán y de la geología del mar Caribe, la mayor parte del litoral caribeño mexicano corresponde a formas erosivas en la clasificación de *Sherpan* (Ortiz, Pérez, 2006)³, así como formaciones biológicas (manglares, arrecifes de coral), distribuidas a lo largo de islas, barreras costeras, lagunas costeras, marismas, rías y estuarios.

Dadas las condiciones del medio geográfico del territorio de Quintana Roo, éste fue tardíamente ocupado por los humanos (de manera gradual y con poco impacto sobre el medio) y posteriormente abandonado por la civilización maya. Durante el periodo de dominio español, fue muy poco administrado por el gobierno colonial, al igual que por los gobiernos federal de México y estatal de Yucatán, de éste último dependió hasta 1974, año en el cual se convierte en el estado número 32 de la República Mexicana. Debido a su lejanía de la capital de la República, las costas del estado fueron poco aprovechadas para actividades comerciales, siendo la piratería la única actividad que se desarrolló por mucho tiempo en las costas del Caribe mexicano.

2.1.1 El litoral de Quintana Roo

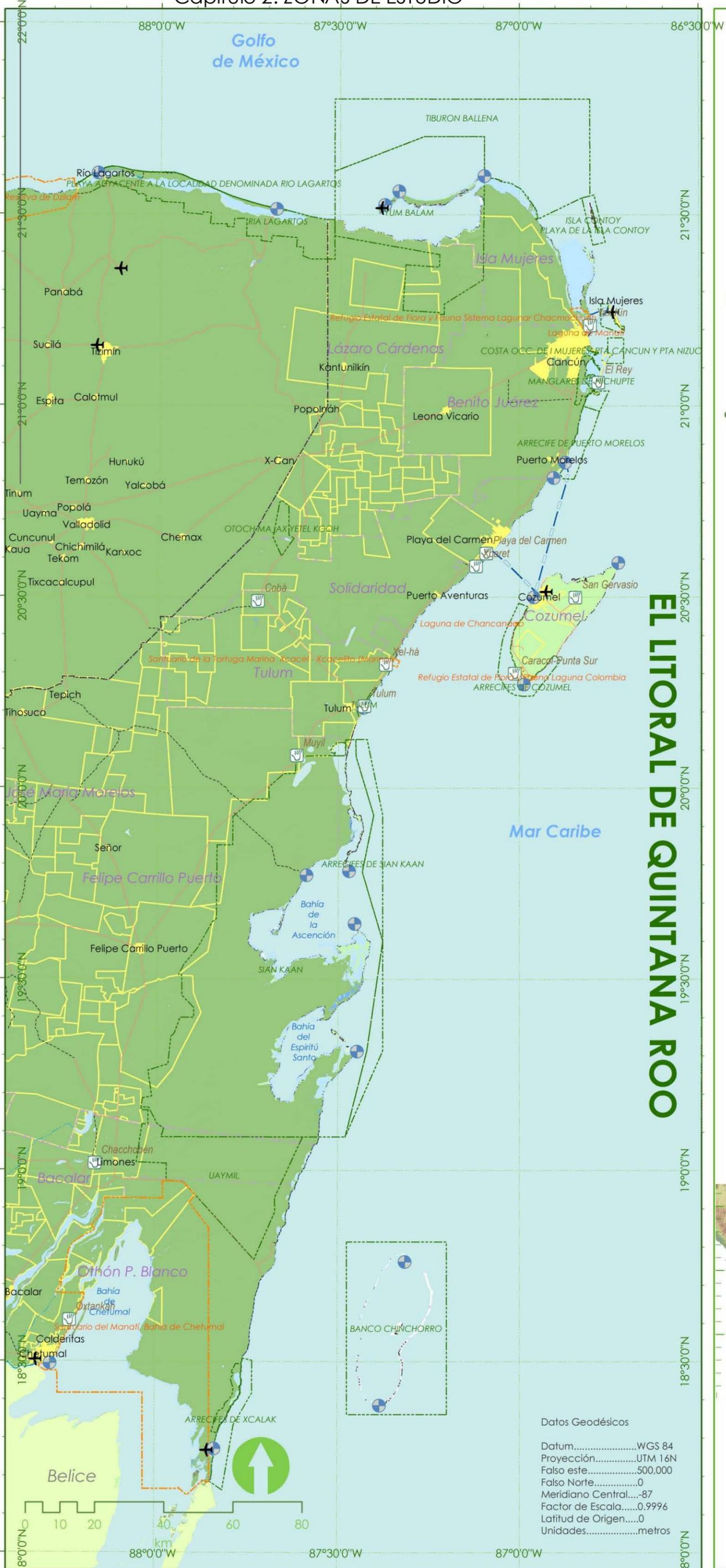
El estado cuenta con 865.22km de línea de costa que se extienden, al norte desde la Isla Holbox en el Golfo de México hasta Arrecifes de Xcalat y Bahía de Chetumal en el extremo sur. (Mapa A: El litoral de Quintana Roo) El litoral puede ser dividido en seis tramos, los cuales son los siguientes:

- 1) La porción correspondiente al Golfo de México al norte, la conforma literalmente un seno llamado *Laguna de Yalahau*, que se localiza enfrente de la Isla de Holbox. En el extremo septentrional de ésta se halla el Cabo Catoche. El Río del Limbo es un canal estrecho que separa Holbox de la Península de Yucatán.
- 2) Corresponde desde Cabo Catoche hasta Puerto Morelos (20° 50'N), donde se presentan características coralinas y bajos que rodean a las

islas; existiendo entradas de mar con poca profundidad que son el efecto del afloramiento de los bancos de coral (ríos de Chacmunchuch, Inglés y de Nizuc). Los accidentes geográficos más notables son las puntas (Arenas, Cancún, Nizuc, Petempich y Tachacté), y las islas (Contoy, Cayo Sucio, Isla Blanca, Islas Mujeres y Cancún) próximas a la zona continental. En la parte norte existe una barrera de arrecifes de coral con gran biodiversidad de especies marinas.

- 3) Corresponde desde el sur de Puerto Morelos, se extiende hasta los límites de la reserva de biósfera Sian Ka'an, se caracteriza por llevar una dirección al suroeste, posee playas angostas, las puntas Céliz y Maroma, las caletas de Chac-ahlal, Xel-Há, Xcaret, Yalkú y Solimán, las ruinas de Tulum y, a 17 km de la península la isla de Cozumel. A partir de esta isla se presentan playas de roca caliza, cuyas puntas más notables son Punta Céliz y Playa del Carmen, hasta llegar a Tanca.
- 4) Corresponde a las costas de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an. presenta una línea continua a lo largo de 35 km y las Bahías de Ascensión (19° 40'N en su parte media) y del Espíritu Santo (19° 21'N), obstruidas por cayos y arrecifes por cuya razón no hay puertos que se alberguen en dichas bahías.
- 5) Corresponde a la entrada a la Bahía del Espíritu Santo, en su límite con el Caribe, abarcando 150 km y sin accidentes considerables, salvo las quebradas de Uvero y Xcalac, que sirven de abrigo a pequeñas embarcaciones, culmina en la boca de Bacalar Chico, al final de una península, en el límite de cayo *Ambergris*, que pertenece a Belice.
- 6) El sexto y último corresponde a las costas del noreste, norte y este de la bahía de Chetumal. De escasa profundidad y poblada de bajos, ésta se conecta, por la bahía de San José con la Laguna de Bacalar, de 40 km de longitud por 2 de ancho, que a su vez está comunicada con el río Hondo por el canal de Chac. Otras lagunas del sur son: Cenote Azul, Om, Guerrero, Mariscal, y Chichanhá; en el centro: Ocón, Chacchoben, Nohbec, Chichankanab, Kanab y Petentulich; y las del norte: Chunyaxché y Cobá. El cenote de mayor relevancia es el llamado Lagarto de Oro (Max Tlacuilo). (Ortiz, Pérez, 2006)

Capítulo 2. ZONAS DE ESTUDIO



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO



Colegio de Geografía/
Instituto de Ingeniería

INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

"Función ecosistémica del manglar
como estabilizador de la línea de costa
en Quintana Roo"

Legenda

Hidrología

- Corriente intermitente
- Corriente perenne
- Cuerpo de agua intermitente
- Cuerpo de agua perenne

Áreas Naturales Protegidas

- ANP Estatales
- ANP Federales

Límites administrativos

- Estatales
- Municipales
- Ejidales

Infraestructura urbana

- Aeropuerto
- Faro
- Ruta de embarcacion
- Localidades urbanas
- Carretera pavimentada
- Carretera terracería

Rasgos arqueológicos

- Sitio INAH



Presenta: David Gómez Palacios
Asesor: Dr. Eduardo Reynoso Angulo

Fuentes:
ANP: CONANP
INEGI
Raster: ESRI
Límites: IFAI Quintana Roo
Zonas Arqueológicas: INAH

2.2 Áreas de estudio

Las áreas naturales protegidas (ANP) constituyen porciones terrestres o acuáticas del territorio nacional, representativas de los diferentes ecosistemas y de su biodiversidad, donde el ambiente original no ha sido esencialmente alterado por el hombre y están sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo (INE, 1996) La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) cataloga en diferentes categorías de conservación gran parte del territorio litoral del estado en orden federal y estatal (Cuadro 2.1):

Manejo	Año	Categoría de Conservación	Nombre	Superficie (ha)	Decreto D.O.F
Federal	1998	Reserva de la Biosfera	Arrecifes de Sian Ka'an	528, 144	02 de febrero de 1998
Federal	1998	Parque Nacional	Isla Contoy	5, 125	02 de febrero de 1998
Federal	2000	Parque Nacional	Costa Occidental de Isla Mujeres Punta Cancún y Punta Nizuc	8, 714	07 de junio de 2000
Federal	2000	Reserva de la Biosfera	Sian Ka'an	723, 185	07 de junio de 2000
Federal	1996	Reserva de la Biosfera	Banco Chinchorro	144, 360	19 de julio de 1996
Federal	2000	Área de Protección de Flora y Fauna	Yum Balam	154, 052	07 de junio de 2000
Federal	2000	Área de Protección de Flora y Fauna	Uaymil	89, 118	07 de junio de 2000
Federal	2002	Parque Nacional	Arrecifes de Puerto Morelos	9, 067	27 de noviembre de 2002
Federal	2002	Parque Nacional	Arrecifes de Xcalat	17, 949	27 de noviembre de 2002
Federal	2002	Parque Nacional	Arrecifes de Cozumel	11, 988	27 de noviembre de 2002
Federal	2008	Área de Protección de Flora y Fauna	Manglares de Ninc hupte	4, 257	26 de febrero de 2008
Federal	2009	Reserva de la Biosfera	Tiburón Ballena	145, 988	5 de junio de 2009
Estatal	1983	Parque Natural	Laguna de Chankanaab	13, 528	26 de septiembre de 1983
Estatal	1995	Parque Urbano	Kabah	41,8	08 de noviembre de 1995
Estatal	1996	Zona Sujeta a Conservación Ecológica	Laguna Colombia	1,501	17 de julio de 1996
Estatal	1996	Zona Sujeta a Conservación Ecológica	Santuario del Manatí-Bahía de Chetumal	276, 455	24 de octubre de 1996
Estatal	1998	Zona Sujeta a Conservación Ecológica	Santuario de la Tortuga Marina Xcacel (Marino)	343	21 de febrero de 1998
Estatal	1998	Zona Sujeta a Conservación Ecológica	Santuario de la Tortuga Marina Xcacel (Terrestre)	18	21 de febrero de 1998
Estatal	1999	Zona Sujeta a Conservación Ecológica	Sistema Lagunar Chacmochuc	1, 897	09 de agosto de 1999

Estatal	1999	Zona Sujeta a Conservación Ecológica	Laguna de Manatí	201	09 de agosto de 1999
Privada		Reserva Ecológica	El Edén	1,492	

Cuadro 2.1. Áreas Naturales Protegidas de Quintana Roo y categorías de manejo.

Fuente: CONANP

2.2.1 Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an

La Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an se localiza en la costa del estado de Quintana Roo. Comprende 528,000 ha. Las "Reservas de la Biosfera" de acuerdo la UNESCO son "zonas de ecosistemas terrestres o costeros/marinos", o una combinación de los mismos, reconocidas como tales en un plano internacional en el marco del Programa MAB de la UNESCO". Sirven para impulsar armónicamente la integración de las poblaciones y la naturaleza, a fin de promover un desarrollo sostenible mediante un diálogo participativo, el intercambio de conocimiento, la reducción de la pobreza, la mejora del bienestar, el respeto a los valores culturales y la capacidad de adaptación de la sociedad a los cambios.

Sian Ka'an se ubica en los municipios de Felipe Carrillo Puerto y Tulum. Sus límites se hicieron coincidir con fronteras naturales siempre que esto fue posible dentro de la uniformidad topográfica de la Península. El límite oriental es el Mar Caribe, y abarca las dos grandes bahías (Bahía Asunción y Bahía Espíritu Santo) y la barrera de arrecifes, hasta la profundidad de 50m en la plataforma continental. Al suroeste los linderos son el límite de los humedales con las selvas subperenifolias y al sur la línea divisoria de los municipios de Felipe Carrillo Puerto y Bacalar (19°05'00"). Al norte (20°06'00") y noroeste los límites son políticos, marcados por los linderos de los ejidos Pino Suárez y Chunyaxche. Felipe Carrillo Puerto es la población más importante de la región con 25, 744 habitantes (INEGI, 2010). Se localiza a 25 km de los límites occidentales de la Reserva.

El 20 de enero de 1986 se expidió el Decreto Presidencial que declaró el establecimiento de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, en el estado de Quintana Roo. En la misma fecha, como parte del programa "El hombre en la Biosfera" fue declarada patrimonio de la humanidad por la UNESCO. El proceso de delimitación y establecimiento de la Reserva se inició en 1982, con un proyecto del Centro de Investigaciones de Quintana Roo (CIQRO) para la creación de una área protegida en el estado que ayudará a la conservación de su enorme riqueza natural (CIQRO, 1983). El nombre de la Reserva de la Biosfera fue aprobado como Sian Ka'an. De acuerdo con el Diccionario Maya Cordemex, Sian Ka'an significa "hechizo o regalo del cielo"(Figura. Este nombre se asocia al que dieron los antiguos pobladores de la región a la parte

sur de Quintana Roo.⁴ Sian Ka'an se encuentra incluido en la lista de Humedales RAMSAR⁵



*Figura 2.1. Sian Ka'an, de etimología maya significa "regalo o hechizo del cielo"
Fotografía: National Geographic*

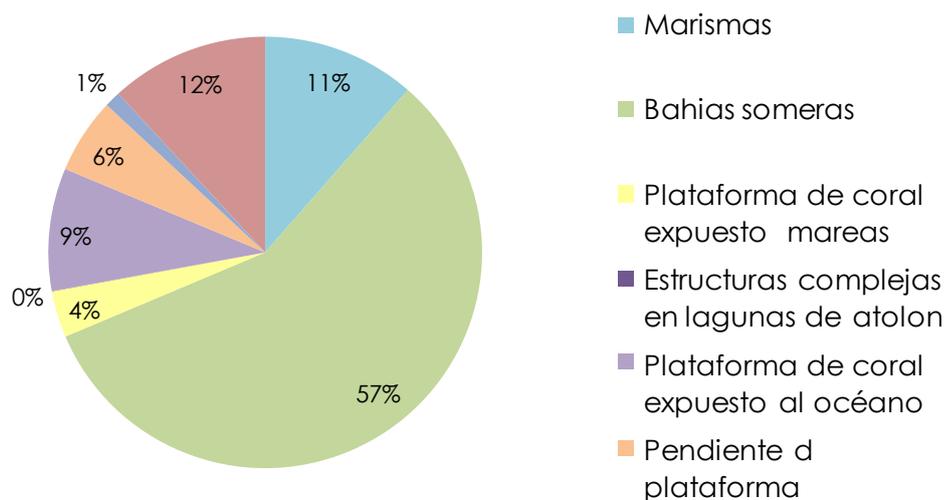
Sian Ka'an se sitúa en la franja más joven de la Península (finales del Terciario), con la mayor parte de sus terrenos emergidos en el cuaternario hace menos de 2 millones de años. Las zonas de humedales son más jóvenes que las zonas más altas y secas ocupadas por las selvas. Las rocas dominantes son calizas granulosas, dan a la península su relieve característico. Por su ubicación, Sian Ka'an se encuentra dentro de dos subprovincias fisiográficas: la subprovincia Karst Yucateco, la cual comprende desde el límite norte hasta la bahía de la Ascensión, al sur de ésta, el resto del territorio de la Reserva corresponde a la subprovincia Costa Baja de Quintana Roo.⁶

La barrera arrecifal constituye un ambiente donde la actividad biológica ha dado lugar a la formación de una estructura geológica. La barrera de arrecifes de Sian Ka'an, con cerca de 110 km de longitud, forma parte de la segunda cadena arrecifal más larga del mundo: la Gran Barrera Mesoamericana. La clasificación geomorfológica y superficie de las formaciones coralinas son las siguientes (Cuadro 2.2 y 2.3):

Geomorfología arrecifal		m ²	ha
Plataforma coralina	Cross shelf	847133107.5	84713.311
Arrecife frontal	Forereef	115187172.2	11518.717
Paso	Pass	7325103.429	732.510
Pináculo	Pinnacle	518401.421	51.840
Corona arrecifal	Reef flat	3458375.94	3458.438
Terraza somera	Shallow terrace	38766458.72	3876.646
Atolón de plataforma endurecido	Shelf hardground	11495705.76	1149.571
Atolón de plataforma	Shelf terrace	174690992.2	17469.099
Indeterminado	Undertminated	83798316.2	8379.832
TOTAL		1313499633	131349.963

Cuadro 2.2. Geomorfología y superficie (ha) de las formaciones coralinas en la Reserva de la Biosfera SianKa'an Fuente: Institute for Marine Remote Sensing, Florida

Siendo representativo de la siguiente manera:



Cuadro 2.3. Esquema comparativo en relaciones a las formaciones arrecifales de acuerdo a su geomorfología.

Las aguas de la Reserva son por lo general muy transparentes por la dureza de la roca y por la oligotrofia, debidas estas a la presencia de un lecho calcáreo y poco soluble. Otro factor que contribuye a la transparencia es la poca proliferación de algas y plancton. Además de la abundancia de carbonatos y bicarbonatos disueltos; un pH que varía de entre los 7.5 y los 9.0

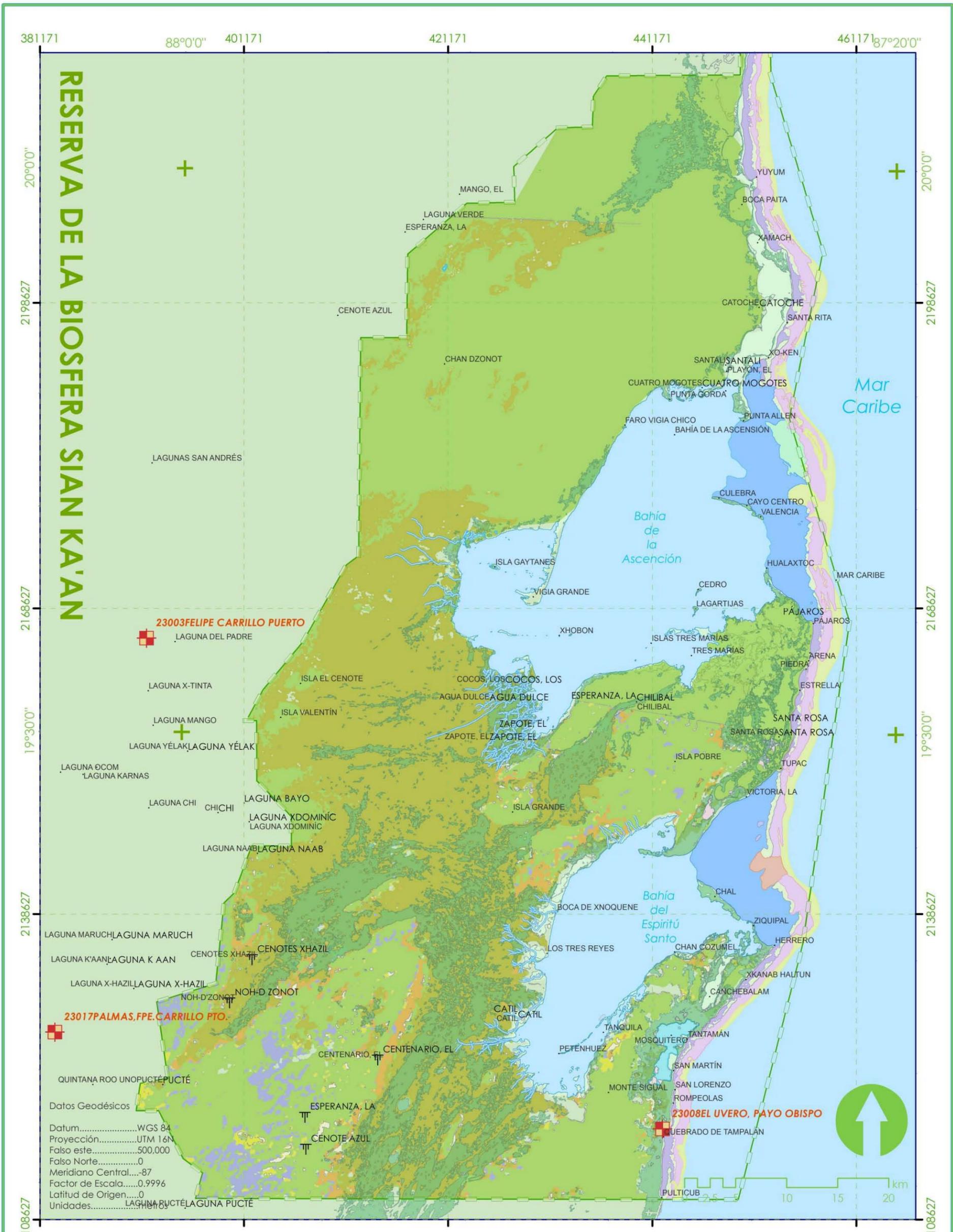


Figura 2.2. Relación y ocupación del espacio entre los arrecifes coral con los manglares. Fotografía: Tim Laman.

El clima se clasifica como Aw, cálido sub-húmedo con lluvias en verano, presentándose dos variantes de éste, dentro de los cuales únicamente la humedad disminuye un poco. La temperatura media mensual es siempre superior a 22° C, la media anual de 26.5° C. Las temperaturas máximas y mínimas puntuales han sido 44° C y 4.5° C respectivamente. No se presentan heladas. Las formulas climáticas son las siguientes (Cuadro 2.4):

Clima	Formula Climática			Húmedad		Precipitación					Temperatura
	Unidad	Clave	Tipo de Subgrupo	Clave	Subtipo	Clave	Tipo de Precipitación	Clave	% Lluvia Invernal	% mes más seco	Media Anual
Aw _{1(x)}	Cálido	N/A	Subhumedo	1	Húmedad Media	w	De verano	N/A	>5 y <10.2	<60	>22°
Aw _{2(x)}	Cálido	N/A	Subhumedo	2	Más húmedo	w	De verano	N/A	>5 y <10.2	<60	>22°

Cuadro 2.4 Llave climática para los tipos de climas localizados dentro de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. (Datos obtenidos mediante la metodología de la Dra. Enriqueta García en base a las modificaciones hechas al sistema de clasificación de climas de Köppen)



RESERVA DE LA BIOSFERA SIAN KA'AN

Datos Geodésicos

Datum.....WGS 84
 Proyección.....UTM 16N
 Falso este.....500,000
 Falso Norte.....0
 Meridiano Central.....-87
 Factor de Escala.....0.9996
 Latitud de Origen.....0
 Unidades.....

<p>Legenda</p> <p>Formaciones Arrecifales</p> <p>Geomorfología</p> <ul style="list-style-type: none"> Plataforma coralina Arrecife frontal Paso Pináculo Corona arrecifal Terraza somera Atolon de plataforma endurecido Atolon de plataforma Cobertura indeterminada 		<p>Vegetación y Uso de Suelo</p> <ul style="list-style-type: none"> Manglar Akalches o bajos Cuerpos de agua Humedales o marismas costeras Pastizal natural Selva Sin Datos Suelo descubierto Uso agrícola, pecuario y forestal Vegetación secundaria 		<p> Límite de la Reserva</p> <p>Rasgos hidrológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Estuario Cenote <p>Otros elementos</p> <ul style="list-style-type: none"> Estación Meteorológica 		<p> UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO</p> <p>Colegio de Geografía/ Instituto de Ingeniería</p> <p>INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM</p> <p>"Función ecosistémica del manglar como estabilizador de la línea de costa en Quintana Roo"</p> <p>Presenta: David Gómez Palacios</p> <p>Asesor: Dr. Eduardo Reynoso Angulo</p> <p>Fuentes:</p> <p>Arrecifes: Institute for Marine Remote Sensing Uso de Suelo: INE Manglar: CONABIO y CONANP Topografía: INEGI.</p>	
---	--	--	--	---	--	--	--

Dentro de la Reserva se encuentra una estación meteorológica con la clave 23008 (de acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional). Sin embargo; la consulta mediante el software ERIC III desarrollado por el IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología y Agua), arroja únicamente registros para un año: 1969. El viento es un factor casi constante en Sian Ka'an, y sopla predominantemente de este a oeste. No se registran vientos de componente oeste. La nubosidad en la zona es alta, 200 días nublados por año y la humedad relativa promedio es superior al 80%. La región está comprendida dentro de la zona ciclónica tropical del Caribe, y los vientos dominantes tienen una dirección este-sureste.

Sian Ka'an incluye las principales comunidades vegetales propias de la península de Yucatán y el Caribe y se sitúa como una zona de transición que permite una diversidad de ambientes en donde se desarrollan organismos tanto mesoamericanos como antillanos. Las principales comunidades son:

a) *Selvas tropicales* (150,000 ha aproximadamente) con 4 subtipos (selva mediana subperennifolia, selva baja subcaducifolia, selva baja caducifolia y selva baja inundable).

b) *vegetación inundable* (175,000 ha aproximadamente) que comprende cayos, manglares de franja, manglares chaparros, "marismas de zacate", "tasistales" y comunidades inundables arboladas con dosel abierto. SEMARNAT (2009) estimó mediante el uso de imágenes de la constelación de satélites franceses SPOT la cobertura de manglar para la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an en 667,288,980.46 m² ó 66,728.90 ha. Las comunidades más representativas son:

b.1) *Manglares de franja*. Presente en los cayos y en los bordes de lagunas costeras, con alturas de hasta 12 m, más comúnmente de 6 a 8 m. Sus componentes típicos son los mangles rojo (*Rhizophora mangle*), negro (*Avicennia germinans*) y blanco (*Laguncularia racemosa*), en este orden de resistencia a la salinidad del agua.

b.2) *Manglar chaparro*. Esta formación de (*Rhizophora sp*) es, junto con el "pantano de zacates", la más extensa en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. Tiene alrededor de 2 m de altura (porque los nutrientes no pueden ser absorbidos por la abundancia de carbonato de calcio) y cubre grandes extensiones de áreas interiores bajas que en época seca posiblemente concentren sales.

b.3) *Petenes*. Son áreas aisladas de bosque tropical que pueden tener un diámetro desde algunos metros hasta varios kilómetros y se encuentran rodeados por zonas de humedales. En Sian Ka'an existen centenares de

petenes, posiblemente más que en ninguna otra área protegida del mundo. Muchos de ellos son difícilmente accesibles y la mayor parte permanecen sin intervención humana. La mayor parte de los petenes en México tienen un cenote al centro, lo cual hace que la vegetación crezca en círculos concéntricos. Hay gran cantidad de fauna dentro de los petenes, desde pequeños insectos hasta grandes mamíferos.

- c) *Comunidades arbustivas* (20,000 ha aproximadamente) que incluyen acahuales (vegetación secundaria), vegetación de dunas costeras y áreas perturbadas

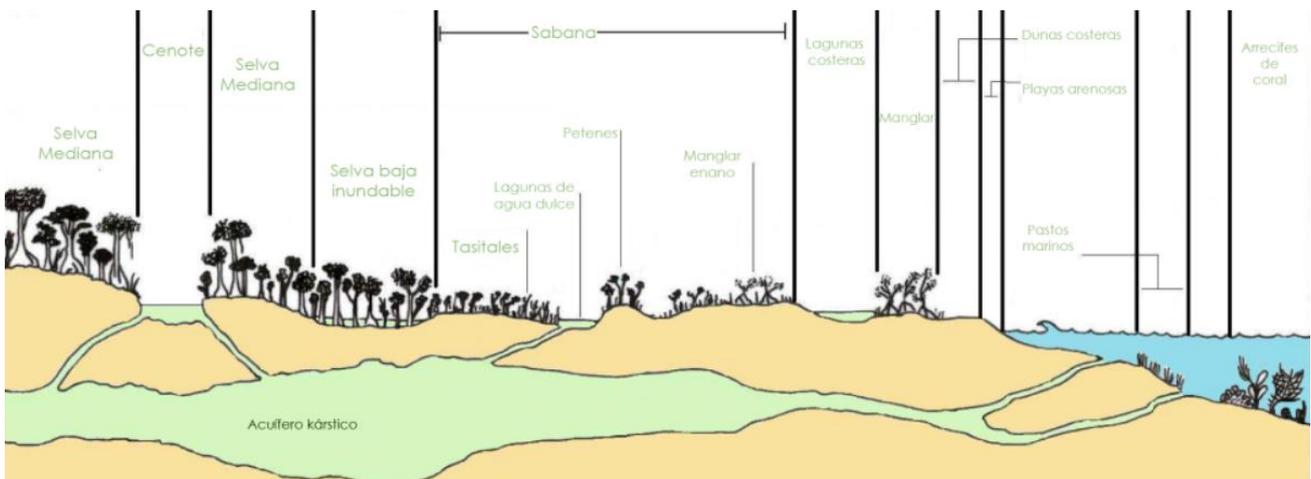


Figura 2.3 Esquema idealizado sobre la distribución y sucesión horizontal de la vegetación en Sian Ka'an. Fuente: Amigos de Sian Ka'an

2.2.2 Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro

Se localiza al Este de la costa del municipio de Othón P. Blanco, al cual también pertenece, a 100 km al Norte de las Islas Turneffe y del arrecife Lighthouse de Belice. La Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro tiene una superficie de 144, 360 ha, que incluyen formaciones arrecifales, laguna arrecifal, Cayos Lobos, Centro y Norte y aguas oceánicas adyacentes. Es un complejo arrecifal coralino clasificado como: falso atolón (Darwin, 1842), atolón (Jordán y Martín, 1987) o arrecife de plataforma (Chávez, *et al.*, 1985). El 19 de julio de 1996 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el decreto que declara la región conocida como Banco Chinchorro y aguas oceánicas adyacentes con el carácter de Reserva de la Biosfera.

Banco Chinchorro es una de las estructuras más grandes de su tipo en la cuenca del Caribe (Jordán y Martín, 1987) y la mayor en México. Por su ubicación en el Mar Caribe forma parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano.

La Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro se encuentra en mar abierto, a 30.8 km del poblado costero de Mahahual (920 habitantes, INEGI 2010), que es el punto continental más cercano, y está separada de la costa por un canal de 1,000 m de profundidad (UNEP/IUCN, 1988).

Banco Chinchorro fue bien conocido por los navegantes españoles del siglo XVI y probablemente lo denominaban Triángulo. Los ingleses también mostraron interés, Barnett lo cartografió en 1839, sin embargo, su trabajo fue publicado hasta 1850 (Stoddart, 1962); esa carta fue la mejor hasta que Chávez e Hidalgo realizaron un levantamiento batimétrico en 1984; incluso Darwin (1842) mencionó un arrecife llamado Triángulos del Norte, localizado entre las Islas Turneffe y la Isla de Cozumel, refiriéndose probablemente a Banco Chinchorro.

El arrecife tiene forma elíptica irregular, el eje longitudinal es de 43.26 km y su eje transversal es de 18.03 km en su parte más ancha. Está rodeado en su totalidad por una barrera arrecifal de 115 km de perímetro (Jordán y Martín, 1987). El eje mayor está orientado de Norte a Sur en forma paralela a la costa de Quintana Roo.

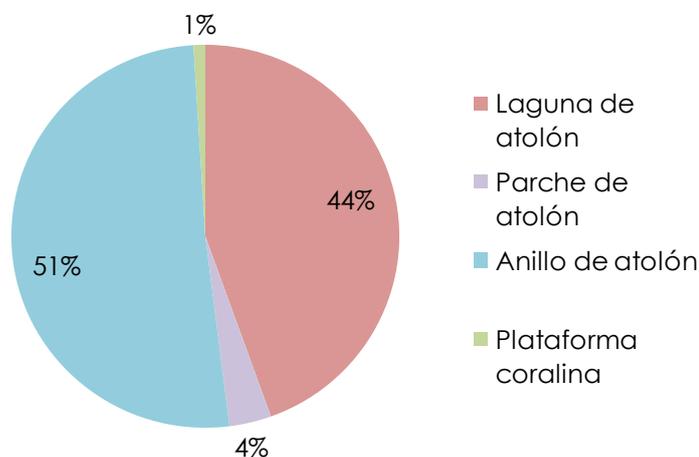
La laguna arrecifal de aproximadamente 53,379 ha, es somera con variaciones de profundidad que disminuye en dirección Sur-Norte. La mitad Sur se caracteriza por numerosos parches y cordilleras coralinas interiores. Algunas cordilleras alcanzan 3 km de longitud y son paralelas al margen oriental del Banco. En la mitad Norte no hay cordilleras y los parches se localizan principalmente al centro de la laguna (Jordán y Martín, 1987).

La superficie coralina en la Reserva de la Biósfera es la siguiente:

Geomorfología arrecifal		m²	ha
Laguna coralina	<i>Deep lagoon</i>	205,842,607.500	20,584.261
Arrecife frontal	<i>Forereef</i>	103,321,794.500	10,332,.179
Estructura coralina emergida	<i>Land on reef</i>	6,292,799.854	629.280
Corona arrecifal	<i>Reef flat</i>	47,585,717.569	4,758.572
Laguna coralina somera	<i>Shallow lagoon</i>	77,221,785.069	7,722.179
Terraza somera	<i>Shallow terrace</i>	184,851,897.710	18,485.190
Corona arrecifal intermareal	<i>Subtidal reet flat</i>	11,360,700.182	1,136.070
TOTAL		636,477,302.384	63,647.730

Cuadro 2.5 Geomorfología y superficie (ha) de las formaciones coralinas en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Fuente: Institute for Marine Remote Sensing, Florida

Siendo representativo de la siguiente manera:



Cuadro 2.6. Esquema comparativo en relaciones a las formaciones arrecifales de acuerdo a su geomorfología en Banco Chinchorro.

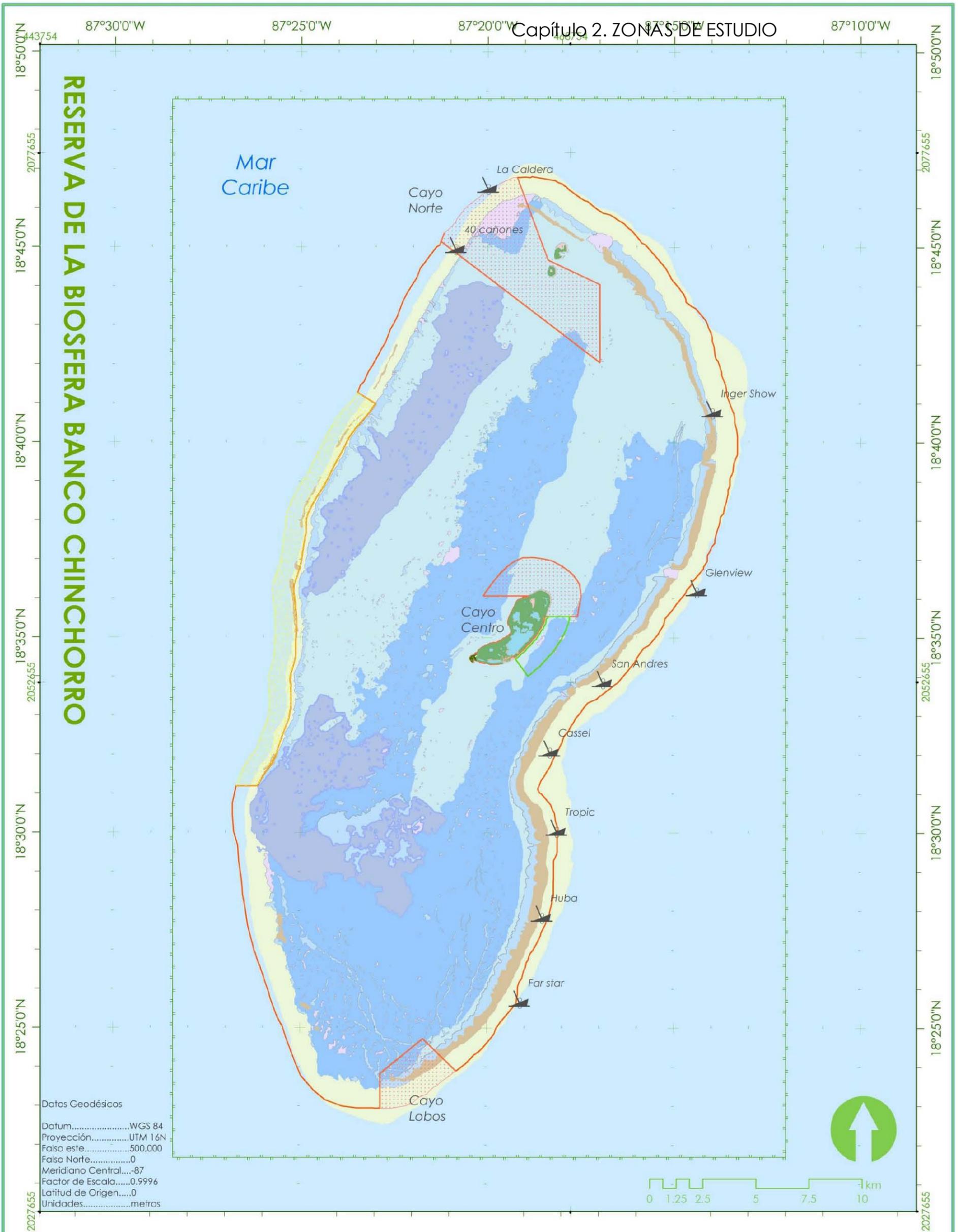
Debido a su localización insular, la Reserva está sujeta básicamente a la influencia del ambiente marino tropical del Caribe, por lo cual los factores que intervienen en su origen, desarrollo y dinámica están determinados por las corrientes oceánicas y costeras del Caribe, los fenómenos meteorológicos de la región e incluso del Atlántico tropical del Este y los procesos geológicos y tectónicos del fondo marino.

El clima se clasifica como Aw, cálido sub-húmedo con lluvias en verano. La temperatura media mensual es siempre superior a 22° C, la media anual de 26.5° C. Las temperaturas máximas y mínimas puntuales han sido 44° C y 4.5° C respectivamente. La formula climática es la siguiente (Cuadro 2.7):

Clima	Formula Climática			Húmedad		Precipitación					Temperatura
	Unidad	Clave	Tipo de Subgrupo	Clave	Subtipo	Clave	Tipo de Precipitación	Clave	% Lluvia Invernal	% mes más seco	Media Anual
Aw _{2(x)}	Cálido	N/A	Subhúmedo	2	Más húmedo	w	De verano	N/A	>5 y <10.2	<60	>22°

Cuadro 2.7 Llave climática para los tipos de climas localizados dentro de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. (Datos obtenidos mediante la metodología de la Dra. Enriqueta García en base a las modificaciones hechas al sistema de clasificación de climas de Köppen)

En la zona de la Reserva los vientos alisios son dominantes a través del año, aunque vientos del Norte pueden predominar de octubre a mayo, asociados con los llamados nortes.



Datos Geodésicos
 Datum.....WGS 84
 Proyección.....UTM 16N
 Falso este.....500,000
 Falso Norte.....0
 Meridiano Central.....-87
 Factor de Escala.....0.9996
 Latitud de Origen.....0
 Unidades.....metros



Leyenda

- Límite de la Reserva
- Depositos litorales**
- Barras
- Zonificación de Cayo Central**
- Lagunas
- Petenes
- Manglar
- Formaciones de Arena

Formaciones Arrecifales

- Geomorfología
- Laguna profunda
 - Arrecife frontal
 - Estructura coralina emergida
 - Corona arrecifal
 - Laguna somera
 - Terraza somera
 - Corona arrecifal internareal
- Zonación del ANP**
- Buceo
 - Zona núcleo
 - Pesca deportiva de liberación
 - Pesca cooperativa
 - Pesca comercial y deportiva
 - Barcos encallados

UNIVERSIDAD NACIONAL
 AUTÓNOMA DE MÉXICO
 Colegio de Geografía/
 Instituto de Ingeniería



"Función ecosistémica del manglar como estabilizador de la línea de costa en Quintana Roo"

Presenta: David Gómez Palacios
 Asesor: Dr. Eduardo Reynoso Angulo

Fuentes:

Arrecifes: Institute for Marine Remote Sensing
 Manglar: Glovis(Landsat 2003)/NASA
 Topografía: En Base a GIS Server Ortofotos INEGI.
 Plan de Ordenamiento: CONANP

Banco Chinchorro se localiza en la porción Norte de la Provincia del Caribe. La biota terrestre tiene fuertes afinidades con el continente por lo que se considera dentro de la Provincia Yucateca. Los inventarios florísticos preliminares realizados en las áreas insulares de Quintana Roo arrojan los siguientes datos para Banco Chinchorro:

Localidad	No. de especies	Especies/km ²	Superficie (km ²)
Banco Chinchorro	78	17.93	4.35

Cuadro 2.8 Inventario florístico para Banco Chinchorro. Fuente: Téllez y Cabrera, 1987. INE 1997.

La diversidad de la flora de Banco Chinchorro es baja por la escasa variación ambiental, el escaso desarrollo de los suelos, la elevada concentración de sales que estos contienen, su pequeña superficie y la distancia que lo separa de la costa. No existen endemismos en la Reserva.



Figura 2.4 Vista de la franja de manglar (desfoliado), palmeras y vegetación hidrófila al interior del Cayo Central desde el faro de la isla.

El único trabajo realizado sobre la vegetación en Banco Chinchorro es el de Cabrera (1998), este autor plantea tres mecanismos de dispersión de semillas o propágulos que podrían responder a la colonización florística del atolón. De acuerdo a Cabrera los mecanismos de transporte corresponden a los Intemperismos severos, las corrientes marinas y la fauna migratoria que utiliza los cayos. El impacto humano sobre el área es responsable de la introducción de especies secundarias, como la palma de coco (*Cocos nucifera*). Las corrientes marinas transportan semillas y propágulos de especies que utilizan ese medio para ampliar su distribución, como en el caso del mangle rojo *Rhizophora mangle*.

Propagulos.- Son una modalidad de reproducción asexual en vegetales, por la que se obtienen nuevas plantas y órganos individualizados. Los tejidos de la porción separada deben recuperar la condición de meristemas para reproducir todo el conjunto de órganos de la planta.

La influencia marina condiciona la vegetación terrestre de Banco Chinchorro, el sustrato salino presente en todos los cayos y la topografía del terreno. La zona oriental de las áreas emergidas es la de mayor altitud, aproximadamente de 2 a 5 msnm, en cambio, la porción occidental, en muchas secciones se encuentra por debajo del nivel del mar (Cabrera, 1998). Particularmente Cayo Centro presenta canales que facilitan el intercambio de agua entre las lagunas interiores y el mar.

De acuerdo a Cabrera (1998) los tipos de vegetación presentes en los cayos de Banco Chinchorro corresponden a vegetación halófila o de duna costera y manglar; forman mosaicos complejos con amplia gama de combinaciones.

Los manglares son el tipo de vegetación predominante, se distribuyen bordeando los cayos o hacia su porción central, en donde la constitución rocosa del subsuelo está por debajo del nivel medio del mar, lo que origina la existencia de zonas bajas y por tanto sujetas a continua inundación. En estas áreas se establecen especies vegetales que por su sistema radicular favorecen la acumulación de detrito y en consecuencia la formación incipiente de capas de suelo. El análisis con Sistemas de Información Geográfica y una clasificación supervisada mediante la obtención del Índice de Vegetación Mejorada (NDVI) con imágenes LANDSAT ETM+ para el año 2003 arrojó una superficie de 429.18 ha de manglar para el ANP.

La fórmula para calcular el NDVI en la herramienta "Raster Calculator" en ARC Map 10 es la siguiente:

$$NDVI = \frac{(B4 - B3)}{(B4 + B3)}$$

Donde:

B3= Banda 3 (0.63 - 0.69)

B4= Banda 4 (0.76 - 0.90)

En las zonas ocupadas por manglar la salinidad es elevada por la influencia directa del mar y la carencia de fuentes de agua dulce diferentes a las lluvias. Los bosques de manglar conforman cuatro asociaciones distribuidas en tres de los cayos exceptuando a Cayo Lobos.

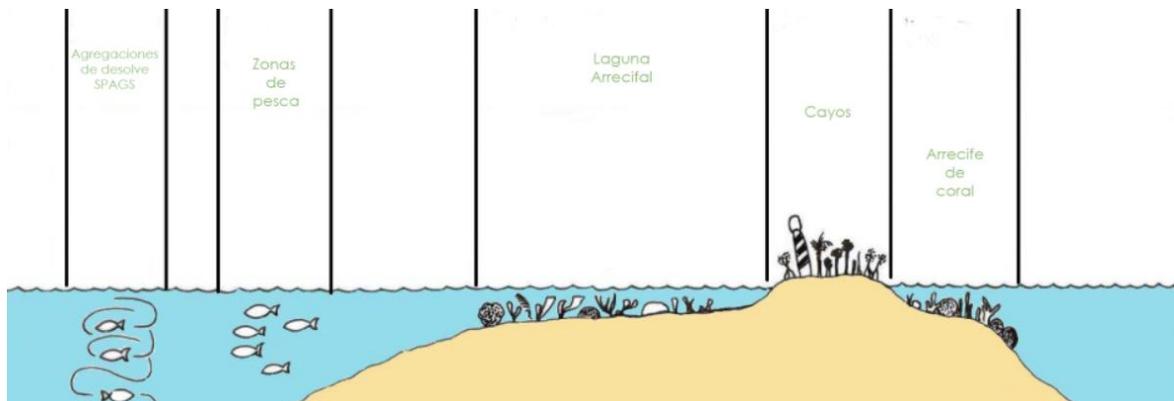


Figura 2.5 Esquema idealizado sobre la distribución y sucesión horizontal de la vegetación en Banco Chinchorro. Fuente: Amigos de Sian Ka'an

Distribución y composición del manglar en Banco Chinchorro

I. *Rhizophora mangle* (Mangle rojo)

Esté cubre completamente los bordes de Cayo Centro y casi completamente los de Cayo Norte, en el que constituye una franja de 10 a 40 m de amplitud en áreas continuamente inundadas por el mar. Alcanza los 12 m de altura y largas raíces zancudas de hasta 2 m de longitud. El substrato sobre el que se encuentra es humífero, producido por la acumulación de restos vegetales y materia orgánica de diversos orígenes, transportada por las corrientes y la marea. La depositación de esos materiales se facilita por la intrincada trama de raíces que

favorecen su acumulación, descomposición y sedimentación. Este proceso ha originado la presencia de un substrato profundo de color pardo oscuro.

II. Manglar mixto

Este tipo de vegetación se localiza en Cayo Centro y Cayo Norte, con dos variantes. Uno en áreas con recambio de agua marina, como la Laguna de Rabios, en donde existen mangles de 12 a 15 m de altura con el dosel cerrado y 30 cm de diámetro. Incluye a las cuatro especies de mangle registradas en México, el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), mangle negro (*Avicennia germinans*) y mangle rojo (*Rhizophora mangle*); se encuentra sobre suelo arenoso-margoso, de color gris claro a pardo-grisáceo permanentemente inundado por el mar o saturado por las lluvias.

En la porción central de Cayo Norte se ubica la otra variante de manglar mixto. Los individuos son arbustivos de 3 a 6 m de altura, dispersos y con el dosel abierto. La vegetación se complementa con un estrato herbáceo de *Batis maritima*.

III. *Avicennia germinans* (Mangle negro)

La distribución de este manglar es en Cayo Centro y Cayo Norte. Al igual que en el caso anterior se presentan dos tipos. Uno asociado a las lagunas interiores con intercambio del agua, el otro vinculado con las lagunas intermitentes en donde el agua permanece estancada por largos periodos.

En la parte posterior del margen oriental de la Laguna de Rabios y en algunas partes de la porción occidental de Cayo Centro y Cayo Norte, el dosel del manglar es cerrado, con fuste recto, con tallas de 12 a 15 m y hasta 20 cm de DAP. El piso se caracteriza por la gran abundancia de neumatóforos y *Batis maritima* de 20 a 50 cm de altura. El suelo es profundo, limoso de color pardo claro, sometido a inundaciones periódicas o permanentes.

El otro tipo de este manglar se asocia básicamente a las lagunas intermitentes de la Sección Sur de Cayo Centro con individuos dispersos de 3 a 6 m de altura. El grado de inundación es mayor al del tipo anterior, pero como está expuesto a la irradiación solar, el substrato puede alcanzar temperaturas que deterioran el desarrollo de los individuos por lo cual el manglar es raquítrico y decadente. El suelo es margoso, profundo y de color gris claro a pardo oscuro.

IV. *Conocarpus erectus* (Mangle botoncillo)

Esta asociación se distribuye en el borde de algunas lagunas de Cayo Centro donde el movimiento del agua favorece periodos de duración variable de inundación y consecuentemente de salinidad que aun cuando permanece elevada aparentemente es más tolerable.

Las lluvias generan gran aporte de agua dulce lo que reduce los valores de esa variable. Este manglar es del tipo de borde lagunar porque constituye una franja de 4 a 10 m de amplitud sobre el contorno de la laguna sin mezclarse con otras especies de manglar. Las tallas varían de 3 a 6 m de altura con diámetros de 10 a 20 cm. El estrato herbáceo es dominado por *Batis maritima*, que presenta gran densidad y alturas entre 30 y 50 cm. El substrato es margoso, profundo y de color gris claro.

3.1 El ecosistema como unidad espacial

Un ecosistema es un complejo dinámico de plantas, animales y microorganismos y el medio ambiente inorgánico que interactúan como una unidad funcional. Los seres humanos son parte integral de los ecosistemas.¹

De acuerdo con la CONABIO, el ecosistema es el conjunto de especies de un área determinada que interactúan entre ellas y con su ambiente abiótico mediante procesos como la depredación, el parasitismo, la competencia y la simbiosis, y con su ambiente al desintegrarse y volver a ser parte del ciclo de energía y de nutrientes. Las especies del ecosistema, incluyendo bacterias, hongos, plantas y animales dependen unas de otras. Las relaciones entre las especies y su medio resultan en el flujo de materia y energía del ecosistema.²

El significado del concepto de ecosistema ha evolucionado desde su origen. El término acuñado en los años 1930s se adscribe a los botánicos ingleses *Roy Clapham* (1904-1990) y *Sir Arthur Tansley* (1871-1955). En un principio se aplicó a unidades de diversas escalas espaciales, desde un pedazo de tronco degradado, un charco, una región o la biosfera entera del planeta, siempre y cuando en ellas pudieran existir organismos, ambiente físico e interacciones.

Más recientemente, se le ha dado un énfasis geográfico y se ha hecho análogo a las formaciones o tipos de vegetación; por ejemplo, matorral, bosque de pinos, pastizal, etc. Esta simplificación ignora el hecho de que los límites de algunos tipos de vegetación son discretos, mientras que los límites de los ecosistemas no lo son. A las zonas de transición entre ecosistemas se les conoce como “*ecotonos*”.

Los cuatro procesos ecológicos fundamentales de los ecosistemas son el ciclo del agua, los ciclos biogeoquímicos (o de nutrientes), el flujo de energía y la dinámica de las comunidades, es decir cómo cambia la composición y estructura de un ecosistema después de una perturbación (sucesión)

3.1.1 La zona intermareal

La zona intermareal o “zona entre mareas”, es la parte de la franja costera que es cubierta y descubierta por el mar, producto de las mareas. La zona intermareal se extiende desde el nivel más alto al que pueden llegar las olas durante el periodo de marea alta, hasta el nivel más bajo al que puede llegar el mar.³

La zona intermareal está cubierta, al menos en parte, durante las mareas altas y descubierta durante las mareas bajas. La duración de exudación (la retirada del mar) de las diferentes partes de la playa (importante para la instalación de los organismos asociados a este biotopo) depende de su ubicación con respecto al nivel medio del mar y del número de mareas por días. Esta zona se caracteriza por facies geomorfológicas muy diferentes que se traducen en la instalación de poblaciones vegetales y animales que tienen poco en común entre ellas (Lugo, Hubp)⁴. Se observan tres sistemas principales:

- las costas rocosas,
- las playas, ya sean de arena o guijarros, que corresponden a las zonas de acumulación (a veces de erosión) de sedimentos,
- las zonas estuarinas donde los depósitos terrígenos son más o menos importantes, depositándose en forma de lodos, en las regiones tropicales y



Figura 3.1 Raíces de mangle. Los manglares se desarrollan en zonas estuarinas donde la energía de la marea y el oleaje es baja. Fotografía: Tim Laman, *National Geographic*

ecuatoriales donde los ríos aportan considerables cantidades de terrígenos, estas áreas albergan a los manglares. (Figura 3.1)

En los ambientes estuarinos, de marismas y manglares, esta zonificación hace referencia a las características físicas (mareas, oleaje, topografía, luz), químicas (pH, salinidad, contaminantes, etc.) y biológicas (competencia, fotosíntesis, asociaciones de especies) de acuerdo

a las cuales se zonifica para conocer la dinámica de la zona en función de las adaptaciones al medio físico.

La clasificación del *Millennium Ecosystem*⁵ establece la categoría de Costera, la cual es definida como la interfase entre el océano y la tierra, extendiéndose mar

adentro hasta la mitad de la plataforma continental y tierra adentro hacia áreas que son fuertemente influenciadas por la proximidad del océano. Imponer una definición o un límite tangible es una empresa difícil, ya que estos ambientes, en la escala de tiempo geológico, varían demasiado en geoforma, composición y patrones dominantes. Sin embargo, se considera un área entre 50 m por debajo del nivel del mar y 50 m por encima del nivel de las mareas altas o extendiéndose tierra adentro a una distancia de 100 km de la costa, incluyendo arrecifes de coral, zonas intermareales, estuarios, comunidades de pastos marinos, manglares y otras comunidades marinas. Aun así, debido a las particularidades de cada espacio, es importante señalar que algunas veces puede llegar a traslaparse con las categorías: marinas, insular y aguas interiores, como por ejemplo: lagunas costeras o arrecifes de coral alejados de la costa.

3.1.2 Los humedales costeros y la vegetación

De acuerdo con la definición de la *Convención de Ramsar* (Ramsar, Irán 1971), humedales son “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”. *Rzendowski (1978)* incluye entre los humedales a la vegetación marina litoral, manglar, popal, tular y carrizal, vegetación flotante, vegetación sumergida, otras comunidades herbáceas anfibias o subacuáticas y bosques de galería.⁶

SEMARNAT (2008) ha identificado tres criterios básicos para su delimitación:

- la presencia de inundación o saturación del suelo,
- la presencia de vegetación hidrófila, y
- la presencia de suelos hídricos.

Los humedales de México están representados por tres grandes tipos de ambientes: los marinos, los estuarinos y los dulceacuícolas, e incluyen una enorme variedad de superficies cubiertas de agua con régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas.^a Los humedales costeros se desarrollan en zonas intermareales y básicamente en costas con oleaje de moderada a baja energía. Las áreas intermareales están constituidas en gran parte por depósitos de arena o lodo, que se denominan llanuras de arena (*sandflats*) o llanuras de lodo (*mudflats*), y también se conocen genéricamente como llanuras mareales. Tienen una inclinación muy pequeña hacia el mar. Por lo general, limitan con tierra firme y se extienden desde el nivel

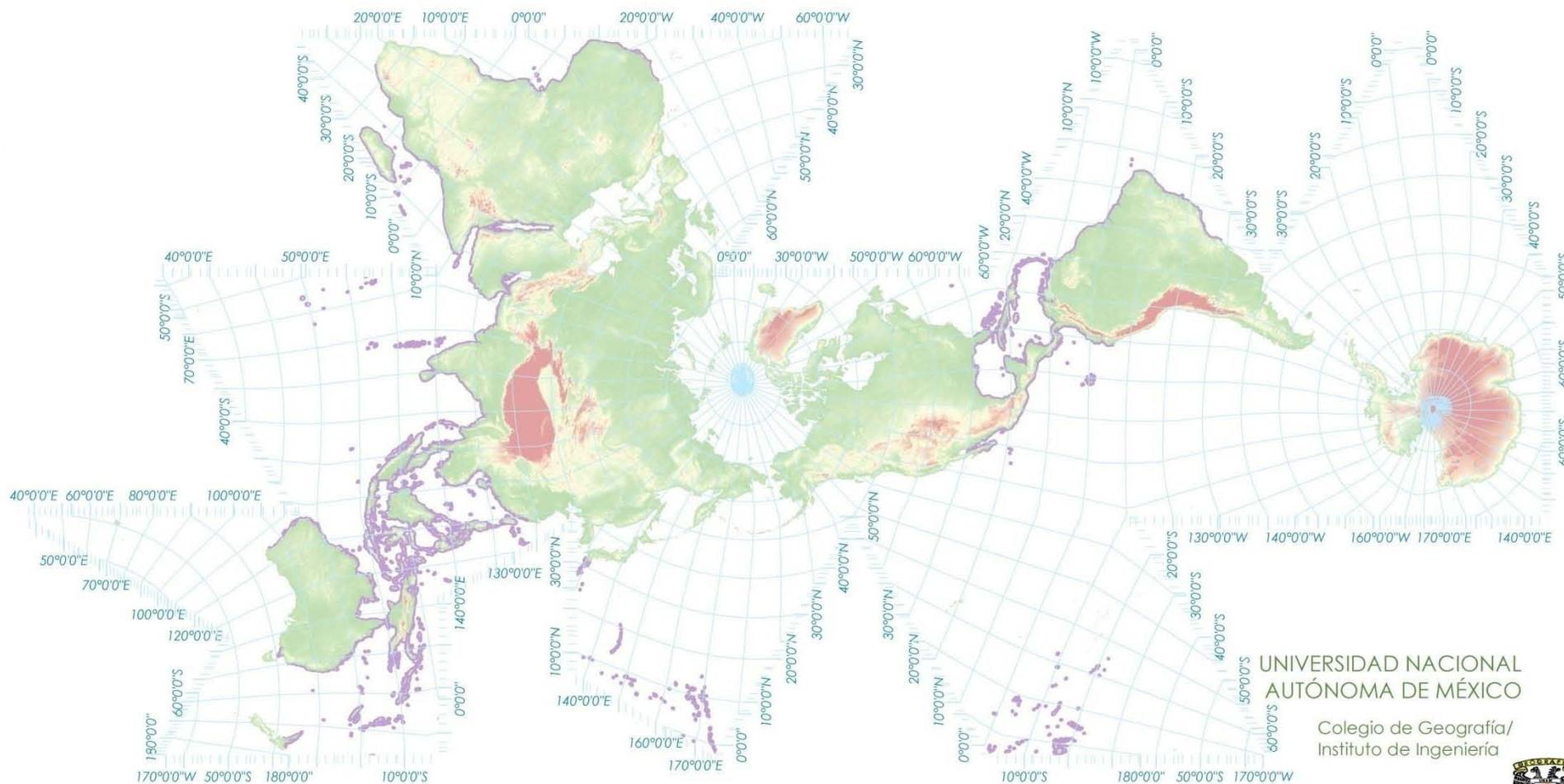
de marea alta hacia el nivel de marea baja y están surcadas por una red de canales. Cuando las plantas que toleran la sal (halófitas) colonizan estas llanuras intermareales, se desarrollan *marismas* y manglares, sobre todo en las partes más elevadas (*Bird, 2000*)⁷. Geomorfológicamente están asociados a amplias bahías, deltas, estuarios, barreras de arenas y áreas de mar abierto.

Las fuentes de sedimentos (arena, limo, arcilla) y de materia orgánica (MO) proceden de la erosión costera, del fondo marino y de los aportes fluviales. Las partículas se movilizan fundamentalmente en suspensión y se depositan principalmente en la zona intermareal. Los depósitos de grano muy fino son resistentes a la erosión, debido a su cohesión y pueden denudarse parcialmente en el transcurso del flujo y reflujo de la marea.

3.2 Importancia del ecosistema de manglar

En el año 2000, la ONU publicó su "*Millennium Ecosystem*". En este documento se reconocía la importancia y las funciones de los ecosistemas existentes y se planteaba el valor real, no sólo de los servicios tangibles (a menudo conocidos como recursos naturales), sino también de los intangibles, todos agrupados en el documento como "servicios ecosistémicos". El manglar, como ecosistema, fue reconocido como uno de los ecosistemas prioritarios. Además de sus funciones o servicios ecosistémicos (protectores de la línea de costa del oleaje, de corrientes y del viento, reguladores del ciclo del agua, purificadores del agua, absorción de metales pesados, agentes formadores y estabilizadores del suelo, función como bóvedas de CO², entre otras), el manglar también es hábitat de una gran diversidad de especies animales. A la vez, son fuente de nutrientes para los hábitats marinos adyacentes, tienen valor económico como productores de madera y leña y tienen un atractivo turístico y cultural. La importancia del ecosistema del manglar no sólo radica en sus servicios ecosistémicos, sino también en su distribución geográfica, puesto que se encuentra limitada su distribución a las áreas costeras intertropicales. (Mapa D)

Capítulo 3 ECOSISTEMA DE MANGLAR Y SERVICIOS ECOSISTEMICOS



Legenda:

 Ecosistemas de Manglar

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

Colegio de Geografía/
Instituto de Ingeniería



**"Función ecosistemica del manglar
como estabilizador de la línea de costa
en Quintana Roo"**

Presenta: David Gómez Palacios
Asesor: Dr. Eduardo Reynoso Angulo

Fuentes:

Mangrove: 2010 IUCN Red List of Threatened Species

3.2.1 Ecología del manglar

Los manglares son formaciones vegetales en las que predominan distintas especies conocidas como mangles, un árbol o arbusto con ramas descendentes que llegan al suelo y arraigan en él, y tienen la particularidad de ser plantas halófitas.

El ecosistema de manglar consta de diversas especies de mangles, las cuales tienen adaptaciones para sobrevivir en terrenos anegados o sujetos a inundaciones periódicas, además de estar adaptadas a soportar un alto (y a veces brusco) contenido de salinidad. Sus raíces son fijadoras de los sedimentos que se encuentran en suspensión en la columna de agua (por lo que por lo general éstos son muy finos) y por lo tanto de la línea de costa. Sus raíces al mismo tiempo funcionan como hábitat para una gran diversidad de especies. Sus hojas, flores y frutos son la base de la red trófica del ecosistema, de la cual dependen



Figura 3.2 Hoja de *Avicennia germinans* exudando cristales de sal. Fotografía: Tim Laman, National Geographic.

muchos de los habitantes de este ecosistema. La constante producción y caída de hojas del mangle llega a formar detrito, que es fuente de energía para organismos y ecosistemas de zonas adyacentes.

Los manglares se desarrollan en las planicies costeras de los trópicos húmedos cerca de las desembocaduras de

ríos y arroyos, o alrededor de esteros, estuarios y lagunas costeras. Estos ecosistemas sirven de transición entre los ecosistemas terrestres y los marinos.⁹

En el mundo se conocen 54 especies de mangles, distribuidas en 20 géneros y 16 familias (Tomilson, 1986)¹⁰. En el continente americano los géneros más representativos son *Rhizophora*, con raíces arqueadas que sirven de soporte, *Avicennia* y *Laguncularia*, ambas con raíces respiratorias (neumatóforos) que brotan del suelo, y *Conocarpus*, el mangle botoncillo. A los manglares se les

reconoce como uno de los ecosistemas más ricos del planeta por su productividad primaria, al tiempo que presentan una gran importancia económica y ambiental por el uso que las comunidades rurales les han dado y por los servicios ambientales que prestan.

3.2.2 Zonación del manglar

El ecosistema de manglar se desarrolla en suelos anegados, lodosos, con espacios intersticiales saturados de humedad, pobres en O_2 , con gran cantidad de MO y una intensa actividad microbiana.

Existe un gradiente biogeográfico en la riqueza de especies y la complejidad estructural que va desde los manglares subtropicales uniespecíficos con poca diversidad y altura, hasta bosques de mangles de mayor altura asociados a otras especies tropicales en zonas más húmedas y de mayor temperatura (López Portillo y Ezcurra 2002)¹¹. En el ámbito local, la distribución estructural de los manglares depende de la topografía del lugar, los periodos de inundación, la precipitación, el estrés hidrodinámico, la competencia interespecífica, la temperatura y la entrada y salida de agua dulce y salobre.



Figura 3.3 El ecosistema de manglar sirve de hábitat para especies tanto terrestres como acuáticas. Fotografía: Tim Laman. National Geographic.

El ecosistema de manglar es uno de los más diversos que existen, por lo que sus características varían de un lugar a otro de acuerdo con cada región geográfica. Este ecosistema presenta una zonificación vertical y horizontal. Mientras la primera hace referencia al uso del espacio y competencia de las especies que habitan en el ecosistema, la segunda hace referencia a la sucesión de especies en función de sus características biológicas, de la topografía y del gradiente ambiental, particularmente con respecto a la humedad y la salinidad. En México, las especies pioneras (o más cercanas a la línea de costa) son el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y el mangle negro (*Avicennia germinans*), los cuales tienen mayores adaptaciones para soportar un mayor contenido de sal y el embate de las olas, mareas, viento y corrientes, y estabilizan el suelo mediante la retención de sedimentos con sus raíces (el mangle rojo presenta raíces adventicias y el mangle negro cuenta con neumatóforos en sus raíces, que le ayudan a estabilizar sus raíces en el suelo). Además, estas dos especies presentan mayores alturas.¹²

A estas dos especies les sigue el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), el cual se presenta en suelos más estables y tiene una menor altura. A este le sigue el mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) el cual es de menor altura y comúnmente marca la división entre los ambientes terrestres y acuáticos. A estas dos especies se les conoce también como mangles secundarios.

Sin embargo, la presencia y la distribución de estas especies de mangles pueden variar de región a región, pudiéndose encontrar sólo dos o tres, dependiendo del sitio.

3.3 Servicios ecosistémicos de regulación del manglar

El ecosistema de manglar proporciona una variedad de servicios vitales para el bienestar humano y constituye parte de la cosmovisión e identidad de muchas sociedades que hacen uso de la franja litoral. El informe *Millennium Ecosystem* (2000) se reconoció científicamente la función del manglar como estabilizador de la línea de costa y protector de la misma ante fenómenos extremos¹³. Sin embargo, hasta el momento pocas han sido las investigaciones que abordan con esta temática el ecosistema de manglar. Tras el *tsunami* del 2004 en el Océano Índico y el del 2010 en el litoral de Japón, las investigaciones han aumentado y varias documentaron evidencias de sociedades que han aprovechado el ecosistema de manglar como una barrera para protegerse a sí mismos y a sus bienes de los eventos extremos en sus regiones.

Los manglares juegan un papel importante como barrera natural de protección que contiene la erosión causada por los vientos y las mareas¹⁴. En aquellos sitios donde el ecosistema de manglar se ha mantenido sano, el impacto de los ciclones ha sido menor que en aquellos sitios en donde se han perdido estas barreras naturales. Organismos internacionales como la FAO, el PNUMA y el PNUD reconocen que en aquellos sitios en donde el manglar mantiene su estructura y salud, el daño tras el tsunami del 2004 en India, Sri Lanka, Tailandia e Indonesia fue significativamente menor.¹⁵

*Shuto (1987)*¹⁶ e *Ishikawa (1988)*¹⁷ señalaron que la estructura de las raíces del mangle, el suelo saturado de agua, el tamaño de los troncos y la biomasa, la resistencia hidráulica y la reflexión de los árboles puede reducir la energía del oleaje, viento y mareas extremas. Además, estos ecosistemas también reducen la energía del viento y el arrastre de arena del suelo (erosión eólica) por el viento. Los manglares “atrapan” la arena y permiten que se deposite formando suelos y dunas que con el tiempo se sedimentan y compactan. Aun así la función de los manglares como estabilizadores de la línea de costa no ha sido entendida del todo. Algunas especies de mangle cuentan con adaptaciones biológicas, resultado de su evolución, como los neumatóforos y las raíces aéreas, las cuales favorecen la sedimentación y la estabilidad del árbol en el suelo.

*Harada e Imamura (2002)*¹⁸, en una revisión, identificaron cuatro servicios de protección de la línea de costa:

1. La función de detener objetos a la deriva

Durante un fenómeno extremo, la biomasa del manglar (hojas, ramas y raíces) puede detener objetos arrastrados por las olas. Al detener objetos a la deriva, los daños son menores a la infraestructura y ecosistemas que se encuentran detrás de los ecosistemas de manglar. Los autores limitan esta función para olas no mayores de cuatro metros.

2. La función de reducir la energía de las olas

La resistencia hidráulica y la reflexión que ejercen los árboles pueden reducir la energía de las olas, la altura de la inundación y el área de inundación. *Harada e Imamura (2002)* mencionaron que esta función depende de la densidad y el ancho del ecosistema, el diámetro de los troncos, la altura (y edad) de los árboles, la altura de las olas o mareas y la pendiente. *Hiraishi (2003)* sugirió que 30 árboles

por cada 100 m² en una franja de 100 m de ancho pueden reducir en un 90% el flujo de la presión de un tsunami.¹⁹

3. La función de salvaguardar vidas humanas

Los bosques costeros tienen la función de salvaguardar a personas que se encuentren atrapadas en una ola (esta función es especialmente relevante en un tsunami). La mayoría de las personas que mueren durante un tsunami, mueren ahogadas.²⁰

4. La función de crear barreras naturales

Los bosques costeros funcionan también como reductores de la erosión producida por el viento, ya que atrapan sedimentos suspendidos en el aire y favorecen que se sedimenten y que, con el tiempo, se compacten y formen dunas.

Shuto (1987) señaló que si la energía de las olas o del viento es superior a la resistencia del manglar, la biomasa del ecosistema puede convertirse en un factor de riesgo para los ecosistemas e infraestructura cercana, puesto que pueden ser arrastrados tierra adentro.

Mientras que el concepto de los manglares como “constructores de suelos” (Davis, 1940) ha sido exagerado, es aceptado que los manglares colonizan áreas donde, en condiciones de reposo, permiten la acumulación de sedimentos. Varios estudios geofísicos han demostrado que los manglares pueden atrapar, de manera eficiente, partículas de sedimento fino (limo y arcilla) gracias al movimiento lento del agua (*Wolanski*, 1995²¹; *Young & Harvey*, 1996²²). Otros factores que favorecen la sedimentación son la entrada y la salida de las mareas, siendo generalmente el área de los manglares muy grande en relación al volumen de agua de las mareas, lo que provoca que el movimiento del agua se ralentice y extienda. Además, también influyen los troncos de los árboles, las raíces, los neumatóforos, la acción colonizadora de la fauna asociada al lecho de los manglares y sus raíces, la pendiente, y las grietas y fisuras que salpican el suelo del bosque.

3.3.1 Evidencias geológicas de las funciones ecosistémicas del manglar

El cambio es un atributo natural de los ecosistemas, con organismos que responden y se adaptan temporal o espacialmente a los patrones climáticos y geográficos, incluyendo eventos tectónicos y cambios en la circulación de los océanos y la atmósfera. Todos los ecosistemas están sujetos a una gran variedad de disturbios, desde naturales hasta antropogénicos que varían en su duración, frecuencia, tamaño e intensidad, y juegan un papel crucial en la evolución y adaptación de las especies.²³ Los ecosistemas de manglar, como todos los ecosistemas, están sujetos a una gran variedad de eventos que pueden modificar su naturaleza en tiempo y espacio. Los manglares por lo tanto parecieran exhibir un alto grado de estabilidad ecológica.

Poca atención se ha puesto a las respuestas adaptativas de los manglares a los disturbios. Existe la percepción de que los manglares son ecosistemas estacionarios y poco diversos, sin embargo, tienen una gran variedad de características clave que han contribuido a su resiliencia ante disturbios de diferentes escalas, desde un tsunami hasta el cambio climático²⁴. Estas características son:

1. Una importante reserva de nutrientes bajo el suelo que sirve para reponer nutrientes perdidos.
2. Rápidas tasas en el flujo de nutrientes y descomposición microbiana que facilitan la transformación del medio abiótico.
3. Complejos y eficientes controles bióticos (por ejemplo, el uso eficiente de los nutrientes o la elevada cantidad y uso de agua).
4. Un diseño único y arquitectura sencilla que conducen a una rápida reconstrucción y rehabilitación después una perturbación, a pesar de la composición de especies diferentes.
5. Una redundancia de especies clave, especies o legados, que puede conducir a la restauración y recuperación de las funciones forestales clave y de la estructura.
6. Vías de retroalimentación positiva y negativa que proporcionan maleabilidad para ayudar a amortiguar las oscilaciones durante la recuperación a un estado más estable o a en equilibrio.

Desde una perspectiva geológica, las especies actuales de mangle son un legado del Holoceno, así como su actual distribución geográfica. Al mismo tiempo han demostrado resistencia a las fluctuaciones del nivel del mar resultado del último periodo de glaciación del planeta (Woodruffe, 1992)²⁵. Los primeros registros de manglares se pueden remontar hasta hace unos 65 millones de años (Duke, 1992)²⁶ y desde entonces grandes extensiones de manglares han surgido y desaparecido. De esta manera el manglar ha sido uno de los ecosistemas más exitosos en su adaptación en la escala de tiempo geológico.

Durante los últimos miles de años, los manglares han sido sometidos a perturbaciones casi constantes como resultado de fluctuaciones en el nivel del mar (Woodruffe, 1990, 1992; Yulianto et al., 2005)²⁷. El patrón general para el último periodo interglaciar consistió en una disminución global del nivel del mar, la cual concentró a lo largo de una serie de oscilaciones en el tiempo, periodos de acumulaciones y derretimiento de casquetes de hielo en las latitudes septentrionales y las altitudes mayores. El último periodo se tiene registrado hace 18000 AC. Desde entonces, el hielo se ha derretido y el nivel del mar ha aumentado rápidamente a tasas promedio de 5-15 mm/año (Woodruffe, 1992)

La existencia de fósiles y depósitos de manglares en turba en varias partes del mundo muestra evidencias de cambios dinámicos en los manglares en la escala de tiempo geológico (Ellison & Stoddart, 1991; Plaziat, 1995; Kim et al., 2005). Por ejemplo, en la Gran Barrera de Coral, en Australia, depósitos de manglares son comúnmente encontrados en paleo-canales de lechos de ríos que atravesaban la plataforma continental cuando el nivel del mar era más bajo, hace 7000 años. Los núcleos de sedimentos tomados dentro de estos paleo-canales apoyan la idea de que el cambio en el nivel del mar fue brusco (Hull, 2005)²⁸. Además, en la evidencia encontrada en otros lugares, los depósitos contienen piezas intactas de madera, corteza, hojas y raíces conservadas lo suficientemente bien como para identificar a qué familia pertenecían (en su mayoría a *Rhizophoraceae*). La existencia de estos depósitos indica descomposición microbiana lenta, pero también significa que la extinción local de estos bosques fue repentina (Hull, 2005). Esta interpretación coincide con el registro cronológico tomado de muestras al norte de Indonesia en la plataforma de Sonda, que indica un rápido aumento del nivel del mar de hasta 16 m dentro de 300 años (Hanebuth et al., 2000)²⁹.

La persistencia del ecosistema de manglar en la escala de tiempo geológico demuestra su adaptación a las rápidas transformaciones que ocurren en la geomorfología de la línea de costa.

3.3.2 Arrecifes de coral y su relación con los manglares

Los arrecifes de coral se localizan solo en zonas que tienen aguas cálidas durante la mayor parte del año, en las que la temperatura del mes más frío nunca es menor a 18°C y la del mes más cálido no supera los 34°C. Se encuentran en aguas tropicales entre los 30°N y 30°S de latitud (*Guilcher, 1988*)³⁰ (Mapa E). Los corales también dependen de la salinidad del agua y son bastante tolerantes, ya que aceptan desde 30 hasta 38‰. La turbidez del agua es incluso más importante para el crecimiento del arrecife, ya que los corales necesitan para su desarrollo niveles de luz adecuados. En zonas tropicales de intensa meteorización, los productos transportados por los ríos llevan una elevada carga en suspensión. La distribución de los arrecifes está relacionada también con la dispersión del plancton que constituye el alimento de los corales y su suministro depende considerablemente de la circulación del agua.

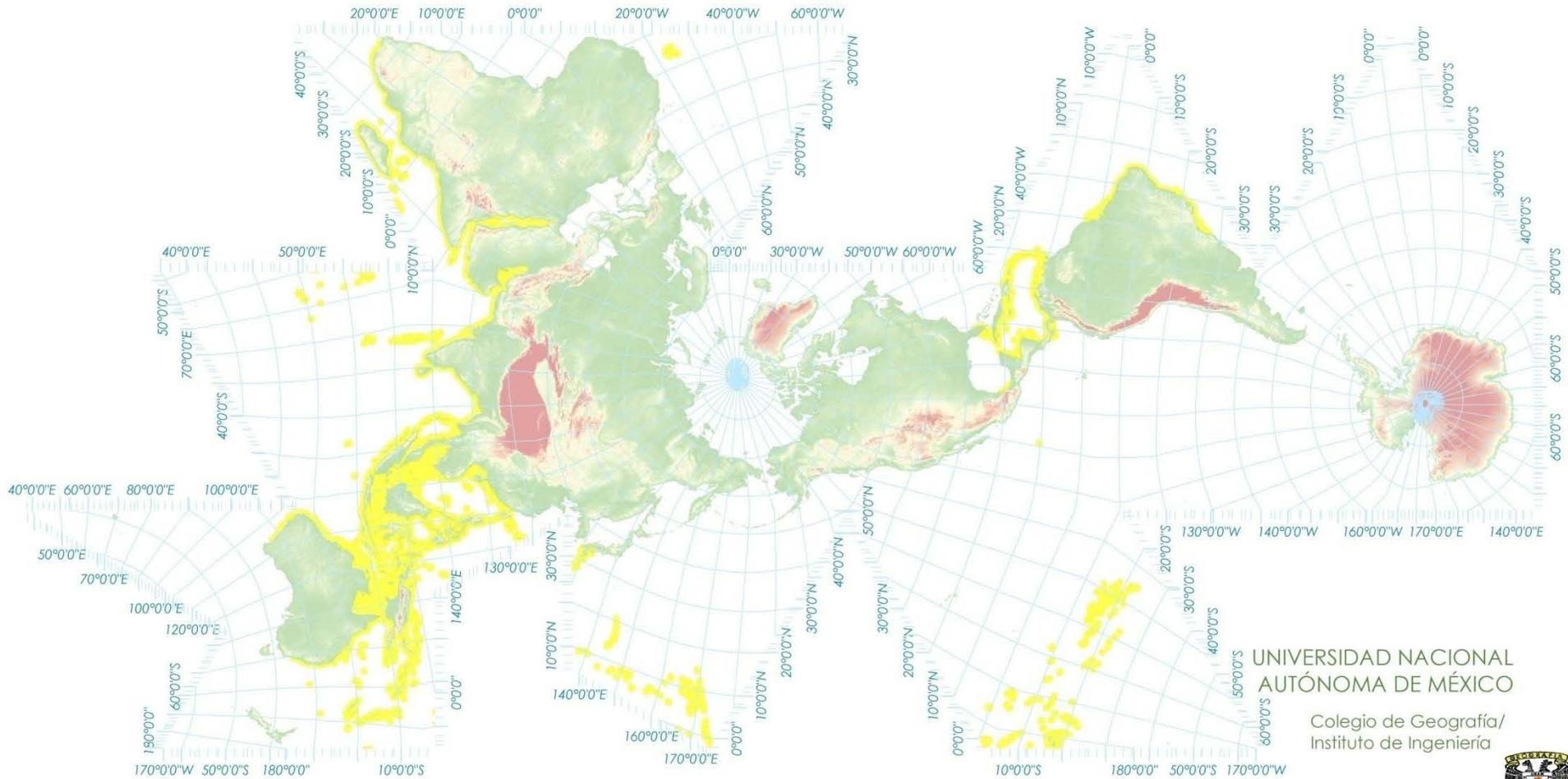
De acuerdo con *Gutiérrez Elorza (2008)*, los arrecifes de coral presentan morfologías de montículos rocosos, plataformas o cordones que se elevan débilmente por encima del fondo marino rocoso y están constituidos fundamentalmente por restos de esqueletos de organismos. Su estructura externa consta principalmente de corales ramificados que han crecido sobre esqueletos antiguos. En el interior de esta estructura se encuentran diferentes tipos de detritos (*Shepard, 1959*)³¹. Los arrecifes coralinos presentan un balance muy sensible entre la construcción biológica y los procesos físicos que los destruyen y controlan su morfología. Al igual que los manglares, desde el punto de vista de la productividad, un arrecife es un ecosistema complejo y de altísima productividad biológica.

La velocidad de crecimiento de los corales se estima entre 1 y 14 mm/año (*Spencer, 1994*)³². En su crecimiento hacia arriba pueden quedar expuestos al nivel de marea baja y, por consiguiente, a la acción del oleaje. Este produce rupturas del esqueleto de los corales por efecto de las olas de tormenta, originando grandes cantidades de gravas y arenas de coral que se alojan en las partes más bajas de los arrecifes. Geomorfológicamente se pueden clasificar como bordeantes, de barrera y atolones. Los arrecifes a lo largo de la costa de Quintana Roo pueden clasificarse como de tipo barrera. Se encuentran paralelos

a la línea de costa y en su interior se encuentran lagunas que no superan los 30 m de profundidad.

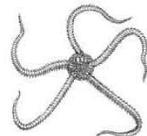
Los arrecifes de coral son importantes y vitales entre los ecosistemas costeros, y proveen a las comunidades locales de importantes servicios sociales y económicos. Además, muchos informes, la mayoría basados en evidencias observables, señalan que los ecosistemas coralinos sanos reducen la fuerza de las marejadas de tormenta y la intensidad de la fuerza de las olas de un *tsunami*, ya que la estructura de coral disipa la energía del *tsunami*. Después del tsunami del 2004 en el Océano Índico, algunos científicos han llamado a los arrecifes de coral la primera línea de defensa, puesto que son los primeros ecosistemas en recibir el impacto de la fuerza del oleaje antes de que éste llegue a la línea de costa. Sin embargo, a diferencia del manglar, el coral, con el paso de un evento de esta naturaleza, tiende a romperse, fracturarse o moverse, lo que en la mayoría de los casos provoca su muerte. Por lo tanto, su resiliencia es menor, y las especies que sobreviven pueden tardar hasta 40 años en recuperar la función del ecosistema. Hacen falta estudios que profundicen en la función ecosistémica de los corales como protectores de la línea de costa.

Capítulo 3 ECOSISTEMA DE MANGLAR Y SERVICIOS ECOSISTEMICOS



Legenda:

 Ecosistemas de Arrecifes de Coral



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

Colegio de Geografía/
Instituto de Ingeniería



**"Función ecosistémica del manglar
como estabilizador de la línea de costa
en Quintana Roo"**

Presenta: David Gómez Palacios
Asesor: Dr. Eduardo Reynoso Angulo

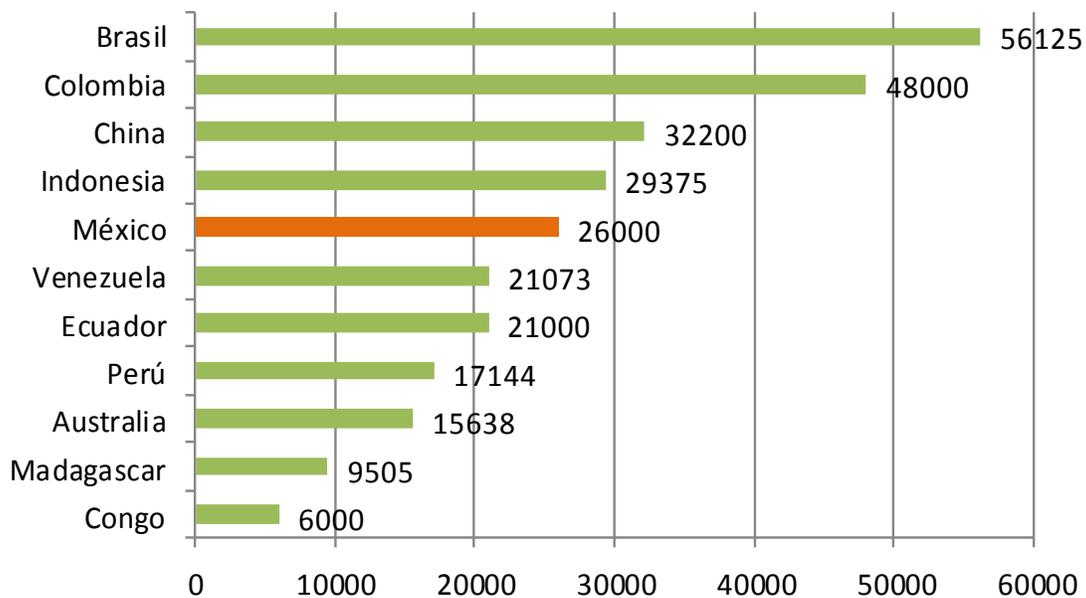
Mapa E

Fuentes:

Coral: 2010 IUCN Red List of Threatened Species

3.4 Los manglares en México

Aunque muchos autores prefieren no hablar de países megadiversos, sino de *hotspots* (*Le Monde Diplomatique*, 2008), México es considerado un país privilegiado por su biodiversidad y ocupa el cuarto lugar en este grupo de países junto a Brasil, Colombia, República Democrática del Congo e Indonesia. México es un país megadiverso por su elevado número de especies, pero también por su riqueza de endemismos de ecosistemas y por la gran variabilidad genética mostrado en muchos grupos taxonómicos, resultado de la evolución o diversificación natural y cultural del país. La gran diversidad biológica de México se expresa como un complejo mosaico de distribución de especies y ecosistemas, en el que se observan tendencias geográficas de riqueza de especies y patrones de acumulación de especies endémicas. (Mapa F) Esta complejidad biológica está relacionada con la gran heterogeneidad del medio físico mexicano, que a su vez es producto de una historia geológica y climática muy compleja. Dentro del territorio de México se encuentran 26,000 especies de plantas conocidas. (Cuadro 3.1)



Cuadro 3.1 Riqueza de plantas vasculares en México y el mundo. Fuente: CONABIO

De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología (2010), el país está dividido en dos grandes regiones con características muy contrastantes: la región Neártica (templada) y la Neotropical. Ambas regiones presentan ambientes secos y húmedos. En la primera región los ambientes secos son zonas áridas y los húmedos son bosques y pastizales. En la segunda región los ambientes secos están representados por las selvas secas y los matorrales espinosos, y los ambientes húmedos por las selvas altas y medianas perennifolias.

De acuerdo con la CONABIO (2009), en México existen cinco especies de mangle: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle negro), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo) y *Rhizophora harrisonii*. (Cuadro 3.3 y 3.4) Las cuatro primeras están ampliamente distribuidas y son abundantes en ambas costas de México, mientras que la última queda limitada a las costas del estado de Chiapas.

Existe una amplia discrepancia en la literatura de los años pasados sobre las estimaciones de la superficie que ocupan los manglares en México, y esto se debe principalmente a cálculos hechos con diferentes métodos que no permiten comparar las distintas cifras. Los valores oscilan entre 44,0000 ha, estimación de la FAO para el año 2000 y cerca de 1,500, 000 ha estimadas por *Snedaker* para el año 1991 (*Ruiz-Luna, 2008*)³³.

Capítulo 3 ECOSISTEMA DE MANGLAR Y SERVICIOS ECOSISTEMICOS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Colegio de Geografía/
Instituto de Ingeniería

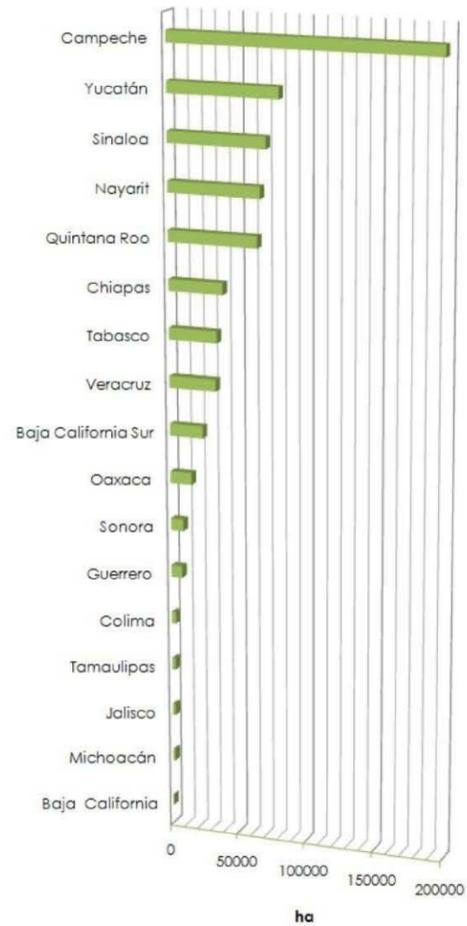
"Función ecosistémica del manglar como estabilizador de la línea de costa en Quintana Roo"

HUMEDALES Y MANGLARES

Legenda:

- Ecosistemas de manglar.
- Humedales
- Sitios RAMSAR

Cobertura de bosques de manglar 2009*



Datos de Proyección:

DATUM ITR 92

* Compendio de estadísticas forestales SEMARNAT 2010

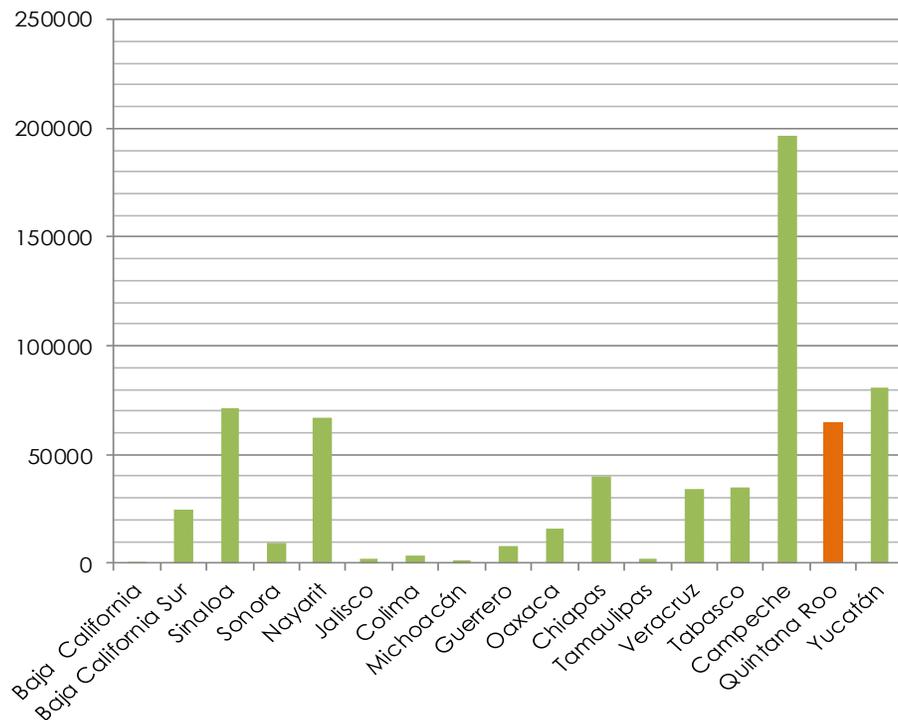
Mapa F

Fuentes: ESRI, SEMARNAT, INEGI, CONANP.



Presenta: David Gómez Palacios
Asesor: Dr. Eduardo Reynoso Angulo

La CONABIO, el INE, la CONAFOR, la CONANP, el INEGI, la Semar y diversos expertos en manglares de México de distintas instituciones académicas determinaron, con base en imágenes de satélite a escala 1:50,000 y con verificación de terreno, que la superficie del manglar en México es de 770,057 ha, lo que representa el 0.39% del territorio del país. La superficie de manglares en áreas protegidas es de 413,483 ha, lo que equivale al 53.7% del total (CONABIO-CONANP, 2008). En el Pacífico mexicano, los manglares se encuentran distribuidos a lo largo de la mayor parte de la costa. Las áreas más extensas se localizan en el sistema de Chantuto-Teculapa-Panzacola en Chiapas y en Teacapán-Agua Brava-Marismas Nacionales en Sinaloa y Nayarit. Estos dos sistemas abarcan el 22% del total de áreas de manglares en México (Flores-Verdugo et al., 1992), aunque el estado de la República con mayor extensión es Campeche. Su distribución extrema en el Pacífico llega hasta las costas de las zonas áridas de la latitud 29°19'N en el Golfo de California, donde los manglares alcanzan alturas inferiores a los tres metros y se presentan comúnmente en parches pequeños de pocas hectáreas.



Cuadro 3.2 Superficie del ecosistema de manglar a nivel estatal (en ha).

3.4.1 Morfología de las especies de mangle en México.

Clasificación Rhizophora mangle	
(Mangle rojo)	
Reino:	Plantae
división:	Magnoliophyta
clase:	Magnoliopsida
subclase:	Rosidae
orden:	Rhizophorales
familia:	Rhizophoraceae
género:	Rhizophora
especie:	Rhizophora mangle
altura (m):	2 a 25
raíces:	En forma de zancos, raíces aéreas
hojas:	Simples y compuestas
flor y fruto:	Flores son pequeñas de color blanco amarillento, el fruto comienza su desarrollo aún prendido del árbol
suelos:	Fangosos pobremente ventilados y tolera sitios de bajas disponibilidad de nutrientes
partículas:	Estuarios con lodo fino compuesto de arcilla y cieno
textura:	Arcillo-limosa, arcillosa
M.O.	Muy ricos
%..	Excesivamente salinos
drenaje:	Permanentemente inundados
pH	Alcalino (6.6)

Clasificación Avicennia germinans	
(Mangle negro)	
Reino:	Plantae
división:	Magnoliophyta
clase:	Magnoliopsida
subclase:	Asteridae
orden:	Lamiales
familia:	Verbenaceae
género:	Avicennia
especie:	Avicennia germinans
altura (m):	Hasta 20
raíces:	raíces con nmeumatoforos
hojas:	Verdes-amarillentas, a menudo con vellos y cristales de sal en la parte posterior
flor y fruto:	Las flores son pequeñas y blancas, mientras que el fruto es ovalado, achatado y vellosa
suelos:	Aguas someras y fangosas o en aguas abiertas tranquilas.
partículas:	Suelos sedimentarios de arcilla y limo.
textura:	Franca-arenosa, arcillosa.
M.O.	2 al 25%
%..	Altamente salinos, Varía de 0 a 100 ppm. Promedio 40 ppm.
drenaje:	Mal drenados. Permanentemente inundados
pH	Alcalino

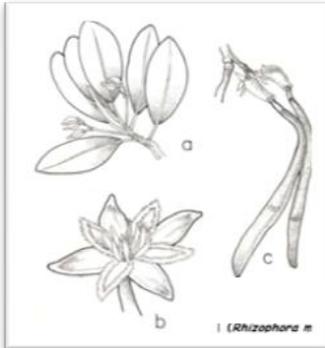
Clasificación Laguncularia racemosa	
(Mangle blanco)	
Reino:	Plantae
división:	Magnoliophyta
clase:	Magnoliopsida
subclase:	Rosidae
orden:	Myrtales
familia:	Combretaceae
género:	Laguncularia
especie:	Laguncularia racemosa
altura (m):	Hasta 20
raíces:	raíces con nmeumatoforos. Poco profundo.
hojas:	Sus hojas son de 4 a 10 cm de largo, con tallos rojizos y dos glándulas colocadas en ambos lados del tallo
flor y fruto:	Las flores son pequeñas y numerosas, de color gris blanquecino. El fruto es pequeño y un poco aplastado.
suelos:	Se desarrolla en zonas de baja influencia de marea
partículas:	Suelos sedimenatarios de arena y arcilla.
textura:	arenoso-arcillosa
M.O.	Muy ricos
%..	15 a 20 ppm
drenaje:	Inundación somera y menos frecuente
pH	Alcalino

Clasificación Conocarpus erectus	
(Mangle botoncillo)	
Reino:	Plantae
división:	Magnoliophyta
clase:	Magnoliopsida
subclase:	Rosidae
orden:	Myrtales
familia:	Combretaceae
género:	Conocarpus
especie:	Conocarpus erectus
altura (m):	5 a 7
raíces:	raíces con nmeumatoforos. Poco profundo.
hojas:	Sus hojas son de 4 a 10 cm de largo, con tallos rojizos y dos glándulas colocadas en ambos lados del tallo
flor y fruto:	Presenta inflorescencias que se convierten en fruta agregada, redonda, de color castaño. Los frutos tienen formula de globulo y presentan gran cantidad de semillas
suelos:	Crece en aguas someras o llanuras con poca influencia de marea.
partículas:	Consolidadas y fijas.
textura:	arcillo-limosa, arcillosa
M.O.	Muy ricos
%..	De fuerte a moderadamente salinos
drenaje:	Inundación estacional
pH	Alcalino

Figura 3.4 Morfología de las especies de mangle presentes en México. Fuente: Capital Natural, CONABIO, 2010

Morfología de las especies de mangle en México.

Morfología del mangle rojo



Rhizophora mangle

- a) Rama vegetativa con yemas florales
- b) Flor
- c) Frutos en forma de pincel que germinan en el árbol.

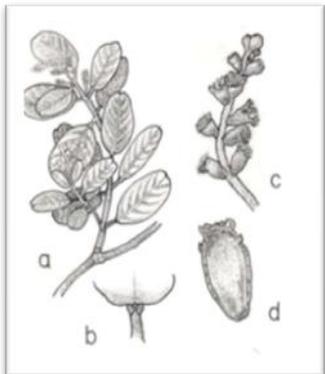
Morfología del mangle negro



Avicennia germinans

- a) Rama vegetativa y flores jóvenes
- b) Racimo floral
- c) Fruto maduro

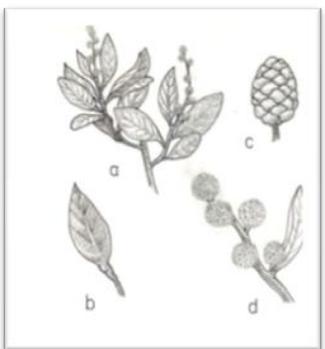
Morfología del mangle blanco



Laguncularia racemosa

- a) Rama vegetativa con yemas florales
- b) Base de una hoja mostrando las dos glándulas que expulsan la sal, característica de la especie
- c) Racimo de flores
- d) Fruto

Morfología del mangle botoncillo



Conocarpus erectus

- a) Rama vegetativa y flores jóvenes
- b) Base de la hoja con glándulas de sal
- c) Agregado de flores
- d) Frutos leñosos (agregados) en desarrollo

Figura 3.5 Características de las ramas, flor y frutas de las especies de mangle en México Fuente: Clinton J. Daves³⁴

3.4.2 Marco jurídico en México para la protección y conservación del manglar

De acuerdo con estimaciones del INEGI, la superficie cubierta por manglar en el año de 1993 era de 956,149 ha, mientras que en 2000 la superficie era de 886,760 ha, de acuerdo con el Inventario Nacional Forestal. En este lapso de tiempo, la cobertura de manglar se redujo en 7.26%, con una eliminación de 66,930 ha de este tipo de vegetación³⁵. Para el año 2009, la SEMARNAT estimó la superficie de manglar en 770,057 ha^b, siendo que entre 2000 y 2009 la cobertura de manglar se redujo en un 13.17%.

El marco jurídico ambiental mexicano ha avanzado considerablemente en los últimos años, y existen diversas leyes que regulan la protección de los recursos naturales. La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) es el cuerpo normativo que establece los principios de política ambiental. La LGEEPA no contiene ninguna regulación expresa sobre manglares. Sin embargo, dicho cuerpo normativo establece que el procedimiento de evaluación del impacto ambiental y las normas oficiales mexicanas son los dos instrumentos de política ambiental que tienen una mayor relación con la protección de los manglares y los humedales costeros. La Ley General de Vida Silvestre (LGVS), aunque en su misión específica los recursos naturales no son su materia, especifica que aquellos recursos que se encuentren en una categoría de riesgo dejarán de ser regulados por otros ordenamientos y pasarán a su tutela. Por lo tanto, esta ley ordena una protección especial de las especies cuya población se ha reducido como consecuencia de las actividades humanas, a tal grado de que están en peligro de extinción, siendo de suma importancia para el ecosistema que el Estado regule las actividades productivas que puedan dañar aún más la viabilidad de alguna especie determinada. Por lo tanto, es en la Ley General de Vida Silvestre donde la NOM-059-SEMARNAT-2010 encuentra asiento y fundamento, y es por eso que todas las especies listadas en esta norma se encuentran tuteladas por la Ley General de Vida Silvestre y no por otros ordenamientos.

Por otra parte, los manglares son ecosistemas sujetos a protección especial por la NOM-059-2010, teniendo como categoría de riesgo la de "Amenazadas (A)" (anteriormente se encontraban dentro de la categoría "Protección Especial (Pr)" en la NOM-059-SEMARNAT-2001) y por lo tanto estando catalogadas como en peligro de extinción. El cambio en la categoría de riesgo se publicó en el Diario Oficial de la Federación el jueves 30 de diciembre de 2010.

La NOM-059-SEMARNAT-2010 define como especies amenazadas (A) a aquellas que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones. Ahora, las especies sujetas a protección especial (Pr) son aquellas que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de

propiciar su recuperación y conservación, o la recuperación y conservación de poblaciones de especies asociadas.

El cambio en la categoría de riesgo de las principales cuatro especies de mangle en México respondió a la necesidad de frenar la pérdida de cobertura de este tipo de vegetación en el territorio nacional, generada desde 2003 como resultado de las autorizaciones que SEMARNAT ha dado de impacto ambiental, de uso de suelo forestal y de aprovechamiento forestal, que de manera sistemática han permitido la tala de grandes áreas de manglar. Este hecho ha impedido que las poblaciones de manglar se puedan regenerar.

La SEMARNAT tradicionalmente ha sostenido que los manglares son recursos maderables regulados por la Ley General de Manejo Forestal Sustentable. Por lo tanto, ha otorgado de manera sistemática cambios de uso del suelo en zonas forestales y autorizaciones de aprovechamiento forestal en áreas cubiertas por manglares. Dichos permisos son totalmente ilegales ya que la regulación aplicable es la Ley General de Vida Silvestre, y es contrario a esta ley el aplicarle al manglar el régimen de permisos y autorizaciones contenidos en la Ley General de Manejo Forestal Sustentable.

La Ley General de Vida Silvestre establece que la vida silvestre podrá tener aprovechamientos económicos extractivos y no extractivos únicamente a través de la autorización de una Unidad de Manejo Ambiental de Vida Silvestre (UMA).

Por otra parte, el 7 de febrero del 2007 se publicó una reforma a la Ley General de Vida Silvestre a través de la cual se adicionó el artículo 60 ter, mismo que a la letra se transcribe:

Artículo 60 TER.- QUEDA PROHIBIDA LA REMOCIÓN, RELLENO, trasplante, poda O CUALQUIER OBRA O ACTIVIDAD QUE AFECTE LA INTEGRALIDAD DEL FLUJO HIDROLOGICO DEL MANGLAR, DEL ECOSISTEMA Y SU ZONA DE INFLUENCIA, DE SU PRODUCTIVIDAD NATURAL, de la capacidad de carga natural del ecosistema para los proyectos turísticos, de las zonas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje, o bien de las interacciones entre el manglar, los ríos, la duna, la zona marítima adyacente y los corales, o que provoque cambios en las características y servicios ecológicos.

Se exceptuarán de la prohibición a que se refiere el párrafo anterior las obras o actividades que tengan por objeto proteger, restaurar, investigar o conservar las áreas de manglar.

4.1 El litoral

De acuerdo con *Carter (1991)*¹ podría definirse al litoral como el espacio en el que interaccionan los ambientes terrestres y marinos (o lacustres). Presentan una superficie y morfología variable, sujeta a cambios muy rápidos en la escala del tiempo geológico. Por ello, su delimitación es difícil y los límites consisten muchas veces en cambios graduales entre unos ambientes y otros; los criterios de acotación del espacio litoral pueden ser geográficos, biológicos, culturales o políticos y no tienen por qué coincidir.

Los principales procesos marinos que actúan sobre las costas son las olas, corrientes y mareas, dando lugar a la erosión o acumulación de sedimentos. Los cambios relativos del nivel del mar modifican el área donde actúan estos agentes



Figura 4.1.- Acantilado en la costa de Tulum, Quintana Roo. De acuerdo a la clasificación de *Shepard*, se trata de una costa secundaria con procesos de erosión.

y multiplican sus efectos. La acción antrópica se suma a estos procesos, interfiriendo en el sistema natural, a menudo negativamente, y alterando el equilibrio existente.

Esta gran diversidad de procesos que actúan sobre la franja litoral da lugar a un sinnúmero de ambientes costeros diferentes, en función del predominio de unos u otros. Su estudio sistemático es complejo, lo que ha

dado lugar a un elevado número de propuestas de clasificación de los medios litorales (*García et al., 2000*)² como las de *Johnson (1919)*, *Valentin (1954)*, *Davis (1964)*. En 1971, *Inman y Nordstrom* en base a la configuración geológica-tectónica clasifican las costas dentro de tres grupos: 1) Costas de Colisión (Márgenes Convergentes), 2) Costas Traslacionales (Márgenes Divergentes) y 3) Costas de Mares Marginales. En el periodo de 1948-1973, *Shepard* clasificó las

costas en base a su geomorfología, a los procesos genéticos y también; a los agentes erosivos que los modelan. *Shepard* dividió su clasificación en dos grupos: primarias y secundarias. Las primeras son las que conservan las características del proceso que les dio origen. Se dividen en cinco: erosivas, acumulativas, volcánicas, por procesos diástróficos y de hielo. Las segundas hacen referencia a los procesos modeladores del relieve, estas son tres: erosivas, acumulativas o por construcción biológica.

Lógicamente, la dinámica de cada uno de estos ambientes viene dada por los agentes físicos y geológicos responsables de su génesis y que actúan sobre ellos. En determinadas circunstancias estos agentes dinámicos pueden revestir peligrosidad y llegar a construir riesgos para las actividades humanas desarrolladas en el litoral. Por esta razón, el conocimiento adecuado de los riesgos litorales requiere una comprensión del funcionamiento de estos procesos naturales costeros y de las áreas concretas sobre la que estos actúan.

La comprensión de los procesos naturales, en el caso de los ambientes costeros resulta parcialmente importante conocer que porciones de la costa pueden ser objetos de uso o de asentamiento humano. La delimitación legal de las diversas franjas que componen la costa, sí como el tipo de uso permitido en cada uno de ellas, constituye un punto de partida fundamental de cara a la previsión de situaciones de riesgo potencial en áreas litorales.

4.1.2 Importancia de los riesgos litorales

Más de la mitad de la población mundial habita en áreas costeras, donde se asientan actividades que suponen, con frecuencia, notables modificaciones al entorno natural. En estas circunstancias el litoral se ve expuesto a múltiples riesgos y sufre cambios observables a escala humana. Por ello es fundamental conocer su evolución y los agentes que actúan sobre su dinámica, de cara a poder predecir con cierta garantía las tendencias de la costa (Dabrio et al., 1993)³

Según la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO (2010)⁴ 20% de la población mundial vive a menos de 25 km. de la costa. (1200 millones de personas en el año 2009); este porcentaje aumenta a 39% si se consideraba al porcentaje que vivía a menos de 100 km. de la costa. Esto significa, que en sólo 20% de la superficie terrestre se asienta cerca del 39% de la población mundial. La perspectiva para el año 2030 no es alentadora, se espera que para ese año, el 75% de la población mundial (6400 millones de personas) vivan a menos de 100 km. de la costa. El aumento de la población de los ambientes costeros no sólo implicará una transformación del paisaje sino también, la destrucción de ecosistemas

prioritarios y el cambio de uso de suelo en éstas áreas lo que conduciría a un notable aumento de la vulnerabilidad de las poblaciones expuestas a fenómenos naturales de cada región, por lo tanto en el aumento de "desastres naturales.

Las fuentes de riesgos en medios litorales son múltiples. Por un lado, las zonas emergidas pueden verse sometidas a todos los tipos de riesgos geológicos característicos de áreas continentales (vulcanismo, sismicidad, inundaciones de origen fluvial, etc.) A ellos habría que añadir los agentes marinos, que consisten en ondulaciones de la superficie del mar de diversa frecuencia y longitud de onda: grandes olas asociadas a temporales, subidas y bajadas rítmicas de carácter mareal, o bien, lentas oscilaciones del nivel del mar de carácter estático. Toda esta variabilidad de fenómenos muestra la complejidad de procesos, y por tanto de posibles riesgos asociados a ellos, en relación con la dinámica de los medios litorales.

4.1.3 La línea de costa en México

México tiene una extensión territorial de 1,964 375 km², de los cuales 1, 959 248 km² corresponden a superficie continental y 5,127 km² son islas. Sobresale el hecho que el país cuenta con 231 813 km², de mar territorial y cerca de 314 920 km² de zona económica exclusiva (Lanza-Espino, 2004)⁵ entre ambas vertientes oceánicas, es decir, 50% más que en su territorio continental. (Mapa G)

De las 32 entidades federativas del país, 17 tienen frente litoral; existen 263 municipios costeros, de los cuales 157 (el 6.4 % del total) cuentan con frente al mar y 113 municipios presentan influencia costera (4.6%). La Tabla 4.1 muestra en kilómetros la longitud de línea de costa de los estados litorales mexicanos. La longitud de la línea de costa de dichos estados es de 11 122 km –sin contar el territorio insular- de los cuales 7828 km corresponden a estados que tienen acceso al Océano Pacífico y al Golfo de California, mientras que los estados del Golfo de México y Mar Caribe comparten 3294 km de línea de costa (INEGI, 2000)^a

Capítulo 4. EL LITORAL



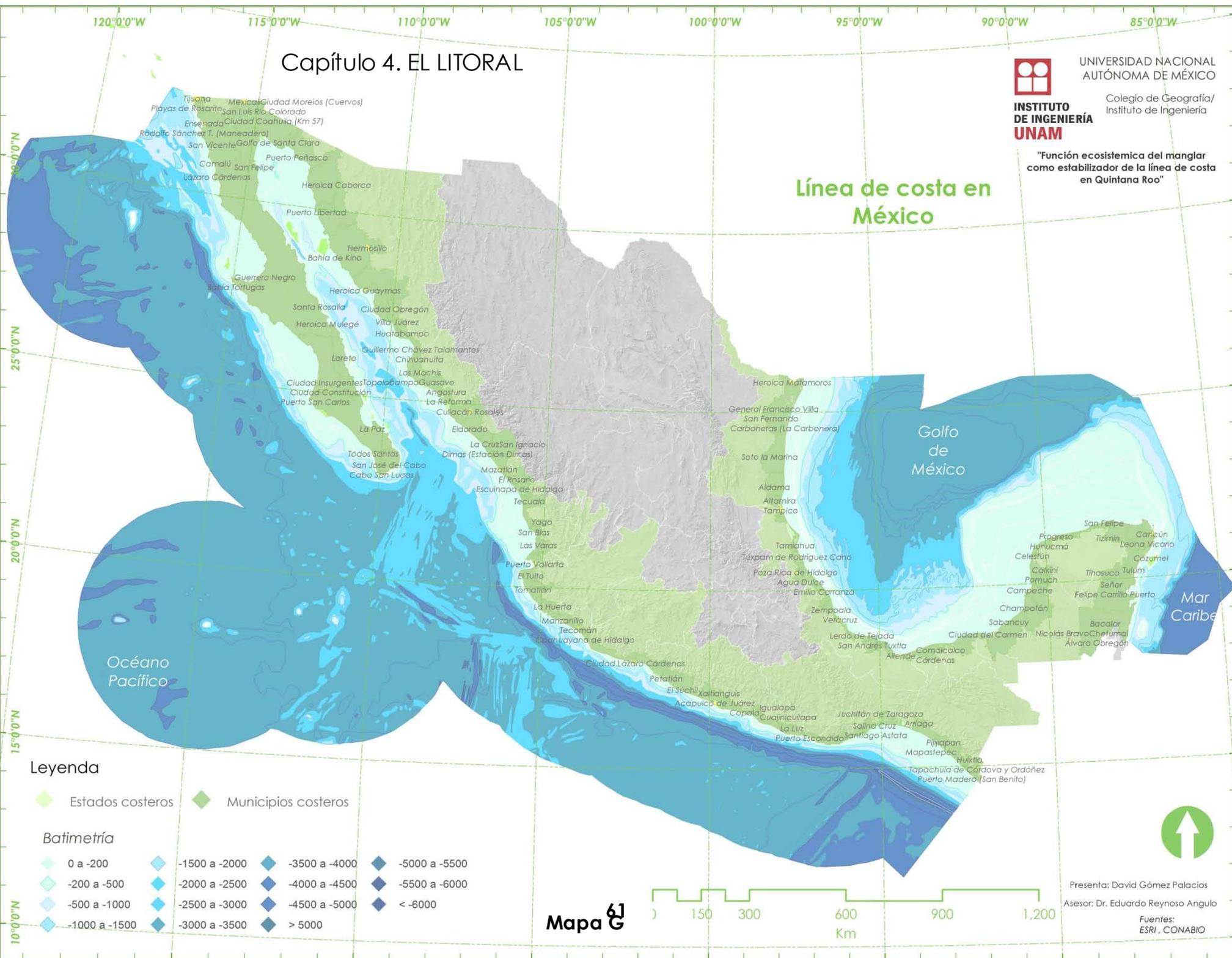
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

Colegio de Geografía/
Instituto de Ingeniería

"Función ecosistémica del manglar
como estabilizador de la línea de costa
en Quintana Roo"

Línea de costa en México



Legenda

- ◆ Estados costeros
- ◆ Municipios costeros

Batimetría

- | | | | |
|---|---|---|---|
| ◆ 0 a -200 | ◆ -1500 a -2000 | ◆ -3500 a -4000 | ◆ -5000 a -5500 |
| ◆ -200 a -500 | ◆ -2000 a -2500 | ◆ -4000 a -4500 | ◆ -5500 a -6000 |
| ◆ -500 a -1000 | ◆ -2500 a -3000 | ◆ -4500 a -5000 | ◆ < -6000 |
| ◆ -1000 a -1500 | ◆ -3000 a -3500 | ◆ > 5000 | |

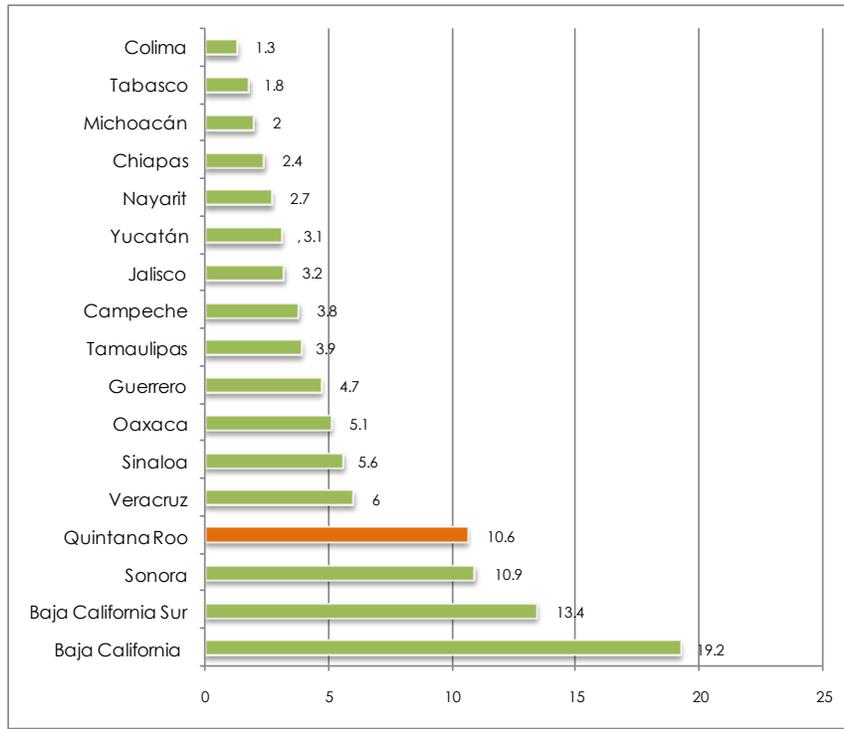
Mapa 61



Presenta: David Gómez Palacios

Asesor: Dr. Eduardo Reynoso Angulo

Fuentes:
ESRI, CONABIO



Cuadro 4.1. Comparación del frente litoral de los 17 estados costeros de la República Mexicana (en kilómetros). Quintana Roo ocupa el cuarto lugar por su extensión y es también el estado con mayor frente litoral en el Golfo de México y Caribe Mexicano. Fuente: INEGI.

La zona costera es habitada por aproximadamente el 15% de la población del país (en los primeros 100 km a partir de la línea de costa); sin embargo, algunas de estas localidades presentan las mayores tasas de crecimiento poblacional, principalmente en ciudades con actividades turísticas o comerciales, entre las cuales destacan las ciudades costeras de los cinco estados peninsulares.

México posee una gran riqueza natural en sus regiones oceánica y costera, por la extensión territorial y su biodiversidad, producto asimismo de su singular fisiografía y posición geográfica intertropical. El dinamismo de la zona costera es producto de la interface del continente, el océano y la atmósfera, donde tienen lugar múltiples actividades económicas de importancia nacional e incluso mundial, como la pesca, la acuicultura, la extracción de hidrocarburos, minerales, la transportación marítima y el turismo, entre otros, en un marco de alta heterogeneidad ambiental y sociocultural. Esta variedad de actividades ejerce una fuerte presión sobre ambientes frágiles y de gran diversidad biológica. Asimismo, la falta de ordenamientos territoriales y ecológicos propicia que las

actividades económicas se afecten entre ellas, como sucede con la pesca, la acuicultura y el turismo.

Actualmente la importancia de las zonas costeras es estratégica, tanto desde el punto de vista del desarrollo económico como de la seguridad nacional, al albergar una gran diversidad de actividades que suelen presentar conflictos por el uso y apropiamiento de los recursos, tales como el suelo, el agua y el paisaje.

4.2 Procesos que actúan sobre la línea de costa (Identificación de riesgos en el Caribe Mexicano)

De acuerdo a Pedraza (1996)⁶ los materiales presentes en la franja litoral costera están sometidos a una acción “reorganizadora” y otra complementaria de “tránsito”. Aportes procedentes del dominio terrestre y detritos arrancados de las costas acantiladas, sufren una continua relaboración y desplazamiento a lo largo de dicha franja, pudiendo pasar parte de ellos hacia zonas más profundas en los fondos marinos o lacustres, donde quedarán estabilizados.

Oleaje, mareas y corrientes litorales, son las acciones básicas responsables de estas transformaciones, cuyo balance está asociado a la intensidad y ritmos que caracterizan a aquellas: fenómenos con alta frecuencia y baja intensidad (oleaje, mareas y corrientes) junto a otros con baja frecuencia y alta intensidad (marea de tormenta, variaciones en el nivel del mar, eventos hidrometeorológicos y geológicos y mareas excepcionales)

4.2.1 Fenómenos con alta frecuencia y baja intensidad

4.2.1.1 Oleaje

La principal fuente de energía para una gran parte de las costas procede de las olas, ya que el litoral es el lugar donde una fuerza prácticamente irresistible (el oleaje) se enfrenta a un objeto inamovible (línea de costa). En algunos litorales las mareas son importantes y llegan a ser dominantes en estuarios o bahías.

Las olas son ondulaciones sobre la superficie del agua producida por el viento. Se caracterizan por movimientos orbitales del agua que disminuyen rápidamente hacia el fondo, hasta que el movimiento es muy débil a una profundidad aproximadamente igual a la mitad de la longitud de la ola. La profundidad a la que la acción de las olas es inapreciable se denomina base de la ola. La altura de la ola (A) es la diferencia en elevación entre la cresta y el valle; es

proporcional a la velocidad del viento. El Periodo (P) es el tiempo que emplea una ola en recorrer una distancia igual a la de su longitud de onda.

La mayoría de las olas se genera por el viento. Sin embargo; las olas pueden trasladarse fuera del área de una tormenta y se denominan olas de mar de fondo (*swell*) Las grandes olas se generan por fuertes tormentas y en el centro del océano pueden alcanzar 20m. de altura, pudiendo recorrer distancias de más de 500 km, a velocidades de 80 km/hora. Estas olas al acercarse a la costa alcanzan una mayor altura e inclinación hasta romper produciendo rompientes. (*Bird, 2000*)⁷ La erosión ocasionada por el oleaje es mínima (pero constante). Sin embargo; las olas llevan a cabo la mayor parte de su trabajo durante las tormentas. El impacto de las elevadas olas de tormenta contra la costa puede llegar a alcanzar una enorme energía. El oleaje, en la costa sur de Quintana Roo está asociado a los vientos, proviene principalmente del Este, por lo que el margen oriental del arrecife coralino es el de mayor grado de exposición a su influencia, actuando como una barrera que disminuye la fuerza de las olas dentro de la laguna e incluso hacia la costa.

4.2.1.2 Mareas

De acuerdo con *Masselink y Hughes (2003)*⁸ las mareas son movimientos del agua producidos por la atracción gravitacional de la Luna y, en menor grado, del Sol. En casi todas las costas hay un ascenso de marea (pleamar) y un descenso de la misma (bajamar). El rango u oscilación mareal en medio del océano es muy pequeño (<1m.), pero aumenta hacia la costa y puede alcanzar valores que superan los 10m. El aumento del rango mareal depende de la anchura e inclinación de la plataforma continental, de la situación y forma de los continentes y de la existencia de grandes bahías. Por consiguiente, la distribución del rango mareal está fuertemente controlada por la configuración de los océanos y de las costas. Los rangos macromareales superan los 4m. y se encuentran en mares semicerrados y en estuarios. Los rangos micromareales están por debajo de 2m. y se localizan fundamentalmente en costas de mar abierto y prácticamente en todos los mares cerrados.

Las mareas alcanzan sus valores máximos cuando el Sol y la Luna tienen la misma orientación que la Tierra. Estas condiciones, que coinciden con Luna llena y Luna nueva, se llaman mareas vivas. Cuando la Luna forma ángulo recto con el Sol, respecto a la Tierra, las dos fuerzas se oponen y las pequeñas mareas resultantes se denominan mareas muertas. Por otra parte, las entradas de las bahías y los estrechos entre islas tienen con frecuencia fuertes corrientes de marea. Los

canales de marea ejercen una importante acción erosiva por los flujos y reflujos de la misma.

La capacidad transformadora de estas oscilaciones se debe, más que a su carácter intrínseco, al efecto impulsor ejercido sobre el oleaje, que amplía así su zona de actuación sobre la costa. Otro efecto derivado de las mareas, es la existencia de una franja sometida al ambiente subacuático y subaéreo alternativamente., la intermareal (intertidal), que soporta fenómenos específicos de sedimentación, meteorización, actividad biológica y acción del oleaje. (Pedraza, 1996)

4.2.1.3 Corrientes

Estas se producen por la acción del viento sobre la superficie del viento sobre la superficie del océano abierto, empujadas por gradientes de presión y diferencias de densidad, como resultado de variaciones en la temperatura y salinidad, se denominan termohalinas. Están influenciadas por la distribución de las áreas terrestres, con desviación de las corrientes por las fuerzas de *Coriolis*.

En el dominio de la línea litoral las corrientes están asociadas a las mareas y el oleaje, generando la deriva y la resaca. Las corrientes de marea afectan predominantemente a los estuarios y zonas semiconfinadas en la costa: allí donde la morfología resulta propicia, el ascenso-descenso llega a alcanzar velocidades de hasta 4 m/s. Las corrientes debidas al oleaje proceden del retorno del agua hacia el mar, Olas que inciden paralelas a la costa dan lugar a corrientes divergentes, con desplazamiento a lo largo de la ribera, junto a otras de retorno formando canales que arrastran el material hacia el dominio marino. Los oleajes en resonancia, interferencia del incidente y reflejado, aparecen modelos más complejos de circulación: aunque similares a las anteriores en su conjunto, éstas son corrientes muy dispersas y divergentes en toda la línea de ribera, por lo cual llegan a constituir un sistema casi permanente de removilización. Finalmente, un oleaje incidente oblicuo consolida unos sistemas de circulación en sentido único predominante: el resultado queda manifiesto por notables desplazamientos, o "deriva" en los materiales desde una zona a otra del litoral, donde acaban estabilizándose y desarrollando morfologías características.

Las corrientes del Caribe (Mapa H) transportan cantidades considerables de agua desde el Océano Atlántico a través de los pasos orientales en las Antillas Menores hacia el noroeste para salir al Golfo de México a través del Canal de Yucatán. En promedio, entre un 15 y 20% del agua de la superficie que entra

Capítulo 4. EL LITORAL

hacia el Caribe es proveniente de las aguas dulces de los estuarios de los ríos Orinoco y Amazonas, conducidas hacia el noroeste por la Corriente Caribeña.

Las corrientes superficiales en la costa de Quintana Roo, presentan velocidades bajas, entre 0.19 y 3 km/h, cerca de la línea de costa; mientras que alejado de ésta, al irse asociando más directamente a la Corriente de Yucatán, muestran velocidades de 1.02 a 3.89 km/h (Merino, 1986)⁹. En la porción inmediata a la línea de costa, existen giros alargados o contracorrientes locales que se establecen por influencia de la fuerte corriente hacia el Norte y la topografía de la costa. El encuentro de la corriente con las puntas o zonas que interfieren el flujo, puede ocasionar acumulación de agua en estas localidades, la cual, limitada por el margen continental tendería a fluir hacia el Sur.

Lo anterior, aunado a la presencia de zonas cóncavas inmediatas hacia el Norte de las puntas y ensenadas, en donde el fuerte flujo paralelo a la costa puede originar gradientes negativos de presión, completa la formación de giros entre puntas consecutivas. La presencia de esos giros, así como su intensidad y extensión, varían fuertemente con el tiempo, posiblemente a causa de los efectos del viento y las mareas (Merino, 1986). Particularmente en Banco Chinchorro existen contracorrientes que se presentan repetidamente y con fuerte intensidad en la zona Oriental y Occidental del arrecife (Jordán y Martín, 1987)¹⁰.



4.2.2 Fenómenos con baja frecuencia y alta intensidad

4.2.2.1 Sismicidad y Vulcanismo

La Unión Geofísica Mexicana reportó el 10 de junio del 2002 la primera evidencia de sismicidad en el estado de Quintana Roo, el cual se consideraba asísmico. Este sismo tuvo una magnitud coda de 4.6 y Mw 4.3. Se tienen registros de sismicidad para el estado de Campeche (Champotón), en 1998 con una intensidad de 4.4. Estos son evidencia de fallamiento activo en la Península de Yucatán, que al parecer está siendo deformada por esfuerzos compresivos con dirección N-S. ¹¹

El riesgo sísmico para Quintana Roo hasta hace algunos años era desconocido, a causa de ello existe nula instrumentación sísmica en la región para poder medir futuros eventos. De acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional en la península algunas veces se sienten las repercusiones de otros sismos que ocurren en el centro del país o en Centroamérica, pero con epicentro fuera del territorio peninsular. La ausencia de procesos tectónicos pasados y presentes dificulta la explicación de un fenómeno sísmico en la región.

Aunque en la península de Yucatán no existen evidencias de vulcanismo, debido a su geología, a lo largo de la cuenca del Caribe existen un total de 68 volcanes: 30 de ellos con actividad histórica (menos de 2, 000 años), 30 con actividad registrada en el Holoceno (hasta 18, 000 años), 5 más sin actividad aparente y uno más sin determinar. Si bien el riesgo de que las costas de Quintana Roo sean afectadas directamente durante algún evento volcánico es muy remoto, existe la posibilidad de un evento volcánico pudiera desencadenar un tsunami que llegara a afectar las costas del Caribe mexicano. ^f

4.2.2.2 Huracanes y depresiones tropicales

Los ciclones tropicales están entre los sistemas meteorológicos más peligrosos y destructivos de la Tierra. Mientras la estructura y funcionamiento de una tormenta tropical es conocido, su origen aún no es bien entendido. La etapa antecedente de un ciclón tropical es conocida en América como *Perturbación Tropical*; los ciclones tropicales se caracterizan por una circulación cerrada de sus vientos y se dividen en fases de acuerdo con la velocidad de su Viento Máximo Sostenido en superficie (VMS):

- a) Depresión Tropical: VMS menor a 63 km/h.
- b) Tormenta Tropical: VMS entre 63 y 118 km/h.
- c) Huracán: VMS mayor a 118 km/h.

Capítulo 4. EL LITORAL

La energía de los ciclones tropicales proviene esencialmente del calor y la humedad que transfiere el océano al aire en los niveles más bajos de la atmósfera. Mientras el centro del ciclón permanece sobre aguas cálidas (temperatura mayor a los 26° C), el suministro de energía es enorme. Mientras más y más aire húmedo se dirige hacia el centro de la tormenta que asciende rápidamente en forma de nubes, mayor calor es liberado a la atmósfera por condensación del vapor de agua y la circulación del viento continúa incrementándose.¹² La importancia y peligro de los ciclones tropicales difiere entre tierra firme y superficie marina. Sobre los océanos las actividades humanas en riesgo son primeramente instalaciones petroleras, barco y tráfico aéreo. En tierra, se ven amenazadas las vidas y actividades humanas en ciudades, pueblos, industrias, carreteras y cultivos que se encuentran, particularmente, a lo largo de la trayectoria del ciclón tropical.

Categoría	Presión central (milibarios)	Marejada de tormenta (metros)	Vientos (km/h)	Daños esperados
1	Mayor a 980	1.2-1.5	119-153	Daños menores por inundaciones.
2	965-979	1.6-2.4	154-177	Zonas costeras pueden ser inundadas de 2 a 4 horas antes de la llegada del centro del ciclón.
3	945-964	2.5-3.6	178-209	Inundaciones hasta 1.5m sobre el nivel medio del mar hasta 13 km o más tierra adentro.
4	929-944	3.7-5.5	210-249	Zonas costeras pueden ser inundadas de 3 a 5 horas antes de la llegada del centro del ciclón. Inundaciones hasta 3m sobre el nivel medio del mar.
5	Menor a 920	Mayor a 5.5	Mayores a 249	Zonas costeras pueden ser inundadas de 3 a 5 horas antes de la llegada del centro del ciclón. Inundaciones hasta 5m sobre el nivel medio del mar.

Cuadro 4.2. Descripción de las características de un huracán de acuerdo con la escala de Saffir-Simpson. Fuente: CENAPRED.

En las zonas costeras, los mayores impactos de un ciclón tropical que golpea tierra se deben a la marea de tormenta, el oleaje, vientos fuertes y lluvias intensas.

Por su extensa línea de costa, la configuración del territorio que se estrecha hacia el sur rodeado por aguas oceánicas y su ubicación intertropical, México es uno de los países más afectados por los ciclones tropicales. El impacto de los huracanes resulta no sólo de la alta velocidad de sus vientos y las lluvias torrenciales, sino también de su capacidad para provocar inundaciones, procesos de remoción en masa, oleaje y marejadas de tormenta. Aunque es premeditado decir que el aumento de las temperaturas en la superficie del océano estén relacionados con el aumento de la magnitud, y quizás la frecuencia de estos fenómenos hidrometeorológicos, en el año 2005, el número de ciclones registrados fue el más alto registrado en la historia del país, siendo la Península de Yucatán la más afectada. De acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional, además de que se reportaron más ciclones, también fueron más intensos que en años anteriores y causaron daños mayores. Los huracanes han formado parte de la dinámica natural de los ecosistemas de las zonas costeras, influyendo en los patrones de paisaje y en la composición y dinámica de la vegetación; por tanto, estos ecosistemas tienen capacidad para resistir sus efectos y regenerarse después de la perturbación. Sin embargo; los efectos de la deforestación y la fragmentación hacen que estos ecosistemas sean cada vez más vulnerables a los efectos de los huracanes y que reduzcan su capacidad para mitigar los impactos que tienen sobre las poblaciones humanas.

Los daños socioeconómicos que estos eventos pueden causar en México en el futuro, dependerán entre otras cosas, de:

- 1) Los patrones demográficos (distribución y nivel de marginación de la población en zonas de riesgo) las estrategias de mitigación para disminuir el grado de exposición y vulnerabilidad de los asentamientos humanos a estas tormentas y
- 2) Los cambios en la cobertura total y la ubicación de los ecosistemas en relación con los asentamientos humanos, así como su grado de conservación junto con la capacidad de resistir y recuperarse de estas tormentas.

Ante la posibilidad de que cada vez habrá más huracanes de magnitudes intensas que entren al territorio mexicano, es importante entender el papel que juegan los ecosistemas costeros en la regulación del viento y del oleaje que generan estos fenómenos, esto implica la conservación de los humedales costeros, manglares, arrecifes de coral. Asimismo, es prioritario entender el efecto de las actividades antropogénicas y de estas mismas tormentas sobre los ecosistemas, con el fin de identificar aquellas que están siendo más afectados e

Capítulo 4. EL LITORAL

incluir esta información en los planes de conservación y restauración ecológica en todo el país

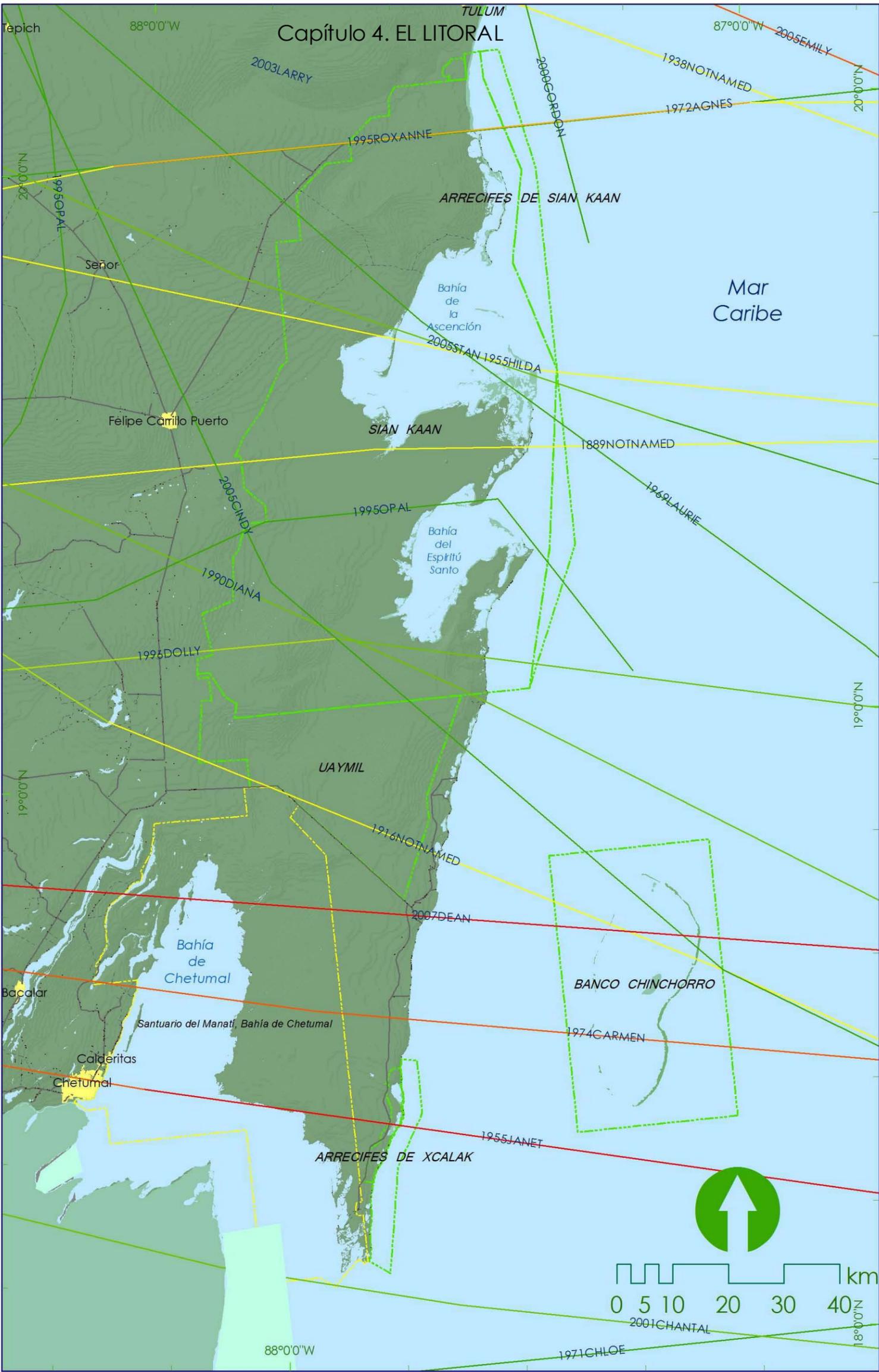
La base de datos con trayectorias de depresiones tropicales y huracanes para el Atlántico Norte con una temporalidad que abarca desde el año 1857 hasta el 2007 (Mapa I), proporcionada por la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) en formato *shapefile* permitió el manejo de la misma, para extraer mediante la herramienta CLIP del *ArcToolBox* en ARC GIS 10.0 los fenómenos que han tenido contacto directo en su trayectoria con la línea de costa del estado de Quintana Roo. Se obtuvieron 38 registros, los cuales se muestran en la tabla, se obtuvo también la categoría (en escala *Saffir-Simpson*), la fecha, la VMS, y la presión atmosférica del ojo del huracán en el momento que éste hace contacto con la línea de costa, como complemento también se muestra la latitud y longitud (WGS 84) del punto aproximado del contacto. Además, sin impactar directamente, pero pasando a menos de 100 km de la línea de costa se hizo un registro de 23 huracanes y 37 tormentas tropicales para el mismo periodo. (Cuadro 4.3)

Año	Mes	Día	Clave	Nombre	Latitud	Longitud	VMS	Presión	Categoría
NOAA				Atmosférica					
1857	9	28	39	<i>Notnamed</i>	21	-86.5	90	0	H2
1880	8	9	202	<i>Notnamed</i>	20.7	-86.7	90	0	H2
1889	9	17	286	<i>Notnamed</i>	19.4	-86.5	95	0	H2
1895	8	26	333	<i>Notnamed</i>	20.9	-85.8	85	0	H2
1903	8	13	396	<i>Notnamed</i>	20.4	-85.6	105	0	H3
1909	8	25	446	<i>Notnamed</i>	21	-85.5	100	0	H3
1916	10	15	496	<i>Notnamed</i>	18.6	-87.2	95	0	H2
1922	10	18	528	<i>Notnamed</i>	20.6	-86.6	95	0	H2
1933	9	22	617	<i>Notnamed</i>	20.2	-86.9	90	0	H2
1938	8	13	667	<i>Notnamed</i>	20.9	-86.3	85	0	H2
1938	8	25	668	<i>Notnamed</i>	19.6	-86.1	85	0	H2
1942	8	28	694	<i>Notnamed</i>	20.4	-86.3	90	0	H2
1955	9	16	834	<i>Hilda</i>	19.6	-87.4	95	0	H2
1955	9	28	836	<i>Janet</i>	18	-86.1	150	0	H5
1965	9	26	924	<i>Debbie</i>	20.5	-86.9	25	0	TD

Capítulo 4. EL LITORAL

1967	9	17	938	<i>Beulah</i>	20.2	-86.2	95	0	H2
1969	10	18	967	<i>Laurie</i>	19.1	-86.9	25	0	TD
1969	10	18	967	<i>Laurie</i>	19.7	-87.6	30	0	TD
1971	8	25	984	<i>Chloe</i>	18	-87.5	25	0	TD
1972	6	15	995	<i>Agnes</i>	20	-87.8	25	0	TD
1973	8	18	1003	<i>Brenda</i>	21.2	-86	35	0	TS
1974	9	2	1014	<i>Carmen</i>	18.4	-86.8	130	928	H4
1975	9	21	1024	<i>Eloise</i>	20.2	-86.4	40	1001	TS
1988	9	14	1143	<i>Gilbert</i>	20.4	-86.5	145	892	H5
1990	8	5	1162	<i>Diana</i>	18.3	-86.3	45	1000	TS
1995	9	27	1217	<i>Opal</i>	19.1	-87.3	25	1004	TD
1995	10	11	1219	<i>Roxanne</i>	20	-87	100	958	H3
1996	8	20	1225	<i>Dolly</i>	19	-86.9	60	1002	TS
2000	9	14	1275	<i>Gordon</i>	19.8	-87.3	25	1008	TD
2001	8	21	1286	<i>Chantal</i>	18.1	-87.7	60	1000	TS
2003	7	11	1313	<i>Claudette</i>	20.4	-86.3	50	1009	TS
2003	9	28	1322	<i>Larry</i>	19.7	-86.9	20	1008	L
2005	7	4	1344	<i>Cindy</i>	18.6	-87.2	30	1007	TD
2005	7	18	1346	<i>Emily</i>	20.3	-87.3	115	955	H4
2005	10	2	1359	<i>Stan</i>	19.5	-87.2	40	1003	TS
2007	8	21	1383	<i>Dean</i>	18.6	-86.9	150	907	H5
2007	12	15	1394	<i>Olga</i>	20.6	-86.5	30	1006	L
2008	7	21	1398	<i>Dolly</i>	19.8	-85.8	45	1007	TS

Cuadro 4.3. Huracanes y depresiones tropicales que han tocado tierra en el estado de Quintana Roo. Fuente: NOAA



"Función ecosistémica del manglar como estabilizador de la línea de costa en Quintana Roo"

Legenda

Huracanes

Categoría

- TD
- TS
- H1
- H2
- H3
- H4
- H5

Carreteras

Tipo

- Pavimentada
- - - Terracería

Localidades

- - 2 - 28787
- 28788 - 57575
- 57576 - 86364

■ Áreas Urbanas

ANP

- Áreas Naturales Protegidas (CONANP)
- Áreas Estatales Protegidas



Presenta: David Gómez Palacios
Asesor: Dr. Eduardo Reynoso Angulo

Fuentes:
Huracanes: NOAA
ANP: CONABIO y CONANP
Topografía y Localidades: INEGI.

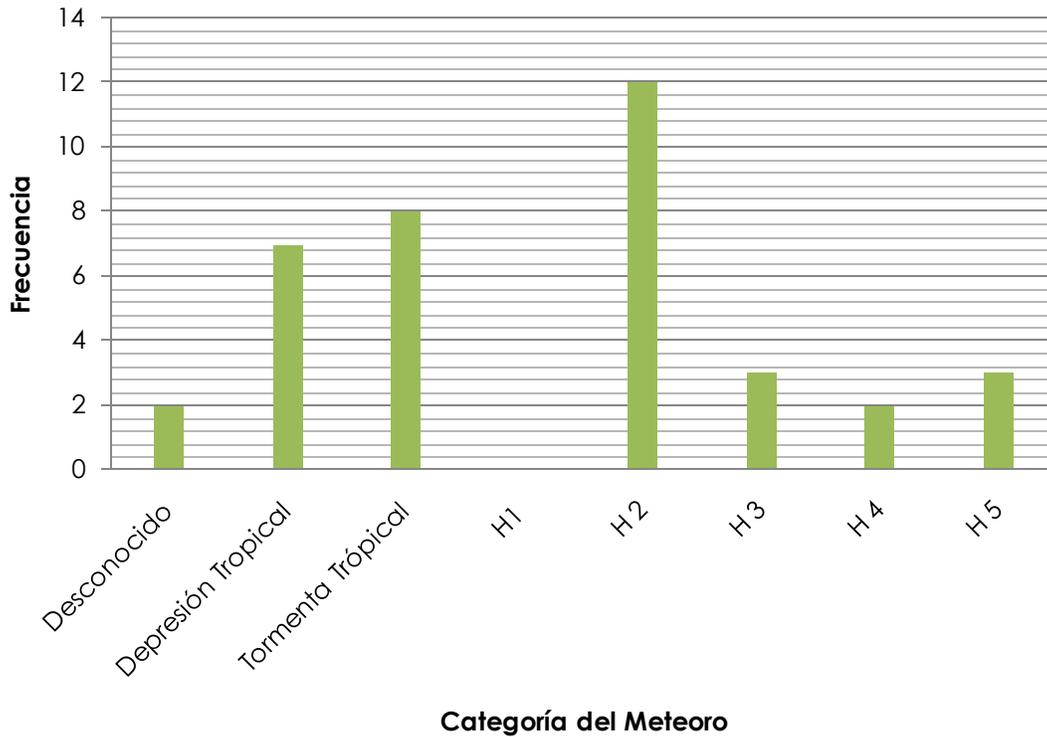
HURACANES

Mapa I



Huracanes que han tocado tierra en Quintana Roo (1857-2007)

Del total de registros, su clasificación (de acuerdo a su categoría en la escala de Saffir-Simpson) al momento de contacto con la línea de costa es la siguiente (Cuadro 4.4):



Cuadro 4.4. Huracanes y depresiones tropicales que han tocado tierra en el estado de Quintana Roo. Fuente: NOAA

Fueron identificados como los más intensos el huracán *Janet* (1955, categoría 5), *Carmen* (1974, categoría 4), *Gilbert* (1988, categoría 5), *Emily* (2005, categoría 5) y el huracán *Dean* (2007, categoría 5), (Cuadro 4.5), los cuales de acuerdo a la memoria colectiva de los habitantes del estado y los registros de CENAPRED corroboran como los que mayor daño dejaron a la sociedad quintanarroense e infraestructura urbana. Mención aparte, Sian Ka'an se encuentra en un área de mayor influencia ciclónica, con grado alto, de acuerdo a la clasificación a nivel nacional que hace SEMARNAT.

Ahora, de estos, se identificaron 10 meteoros que tocan tierra o su trayectoria pasa directamente sobre el área actual de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an (CONANP cita 11 meteoros). De estos, el punto de contacto se muestra en coordenadas UTM 16N.

Capítulo 4. EL LITORAL

Huracán	Fecha de contacto	Coordenadas UTM 16 N/Y	Coordenadas UTM 16 N/X	Vel. Viento	Presión	Categoría	Marejada	Punto de Contacto
Notname	17/10/1889	2153871.778	454032.9	85		H 2	Si	Costa
Hilda	16/09/1955	2167951.753	455932.42	95	0	H 2	Si	Costa
Laurie	18/10/1969	2161737.225	455504.25	25	0	TD	Si	Costa
Agnes	15/06/1972	2211559.898	450162.98	25	0	TD	Si	Costa
Diana	05/08/1990	2110615.723	439032.41	45	1000	T S	/	Selva
Opal	28/09/1995	2145172.33	445355.19	25	1004	T D	Si	Costa
Roxanne	11/10/1995	2211644.941	450164.08	100	958	H 3	Si	Costa
Dolly	20/08/1996	2116915.497	442331.89	60	1002	T S	Si	Costa
Cindy	07/07/2005	2110617.327	427805.91	30	1007	T D	/	Selva
Stan	02/10/2005	2166249.101	456912.63	40	1003	T S	Si	Costa

Cuadro 4.5. Huracanes y depresiones tropicales que han tocado tierra en la Reserva de la biosfera Sian Ka'an. Fuente: NOAA

De los meteoros identificados, el huracán Roxanne es el de mayor categoría (3 en la escala de Saffir-Simpson en 1995), del total de registros ocho entraron directamente en la línea de costa y dos más lo hicieron al área de la Reserva a través del territorio continental. De acuerdo a información contenida en el Plan de Manejo de la Reserva *“las consecuencias destructivas de los huracanes para los asentamientos humanos y los cultivos de litoral han sido una de las causas por las que Sian Ka'an se encuentra despoblado. El mayor asentamiento que hubo en la costa, Vigía Chico, fue abandonado a raíz de su destrucción total por el ciclón Hilda en 1955”*

Banco Chinchorro en el área correspondiente a los límites de la Reserva ha experimentado el paso de cuatro meteoros en su superficie, los cuales son los siguientes (Cuadro 4.6):

Huracán	Fecha de contacto	Coordenadas UTM 16 N/Y	Coordenadas UTM 16 N/X	Vel. Viento	Presión	Categoría	Marejada	Punto de Contacto
Notname	15/10/1961	2056594.12	478875.51	95	0	H2	Si	Mar Abierto
Carmen	02/09/1974	2042588.511	478878.29	130	928	H4	Si	Mar Abierto
Cindy	04/07/2005	2056607.338	478875.33	30	1007	TD	Si	Mar Abierto
Dean	21/08/2007	2062266.119	478845.32	150	907	H5	Si	Mar Abierto

Cuadro 4.6. Huracanes y depresiones tropicales que han tocado tierra en la Reserva de la biosfera Banco Chinchorro. Fuente: NOAA

En el caso de esta ANP, el huracán *Dean* (2007) y *Carmen* (1974) fueron los más intensos, alcanzando categorías 5 y 4 respectivamente, en la escala de *Saffir-Simpson*. En la visita a campo se pudo observar la cobertura vegetal arrasada y desfoliada en Cayo Central (*Figura 4.4*), como muestra de la velocidad del viento máximo sostenido en superficie, el cual puede alcanzar hasta 249 km/h. De acuerdo a la evaluación de daños por el huracán *Dean* por parte de la CONANP, la defoliación del manglar en Cayo Centro y Cayo Norte fue del 100%, mientras que el 10% de la vegetación se perdió totalmente. Al mismo tiempo, el alto grado de turbidez provocado por el sedimento en suspensión tras el paso del huracán provocó la modificación en la configuración de las cordilleras coralinas y la falta de luz causó la muerte del tejido vivo de coral, sin que hasta el momento haya sido cuantificado. En las cordilleras arrecifales se encontraron fragmentos de corales ramificados totalmente erosionados por el efecto del oleaje y marejada de tormenta. Las colonias de corales macizos se encontraron fracturados, volteados y erosionados. La riqueza y biomasa de especies no mostraron cambios significativos, los recursos pesqueros de escama mantienen similares en biomasa, pero la composición y abundancia de especies es diferente.



Imagen 4.2. Vista parcial de la cobertura de manglar tras el paso del huracán Dean en el 2007 en Cayo Central, Banco Chinchorro.

4.2.2.3 Marejada de tormenta

La disminución de la presión atmosférica del centro del ciclón tropical y los vientos de este fenómeno sobre la superficie del mar originan un ascenso del nivel medio del mar que es conocido como marea de tormenta. Esta puede provocar inundaciones en las zonas bajas

continentales cercanas al mar y que las olas impacten sobre estructuras costeras. El nivel de incremento de la marejada en algunos lugares también se determina

por el grado de la pendiente en la costa de la plataforma continental. Un plano poco profundo en la costa aumenta las probabilidades de inundación, mientras que aquellas zonas de más profundidad en la costa disminuyen la probabilidad de inundación, pero el efecto de las olas al romper puede representar graves problemas.

Cuando al ascenso y descenso diario del nivel del mar, producto de la marea ordinaria (astronómica), se combina con la de tormenta, es mayor la sobreelevación del nivel medio del mar. Cuando el ciclón se ha alejado, el nivel del mar desciende y se restablecen las condiciones normales en el océano. La marea de tormenta es más intensa cuando los vientos se dirigen hacia la costa y los vientos del ciclón tropical que tienen dirección de tierra al océano producen un descenso del nivel medio del mar.

La marea de tormenta se puede calcular a partir de la magnitud y dirección de los vientos que actúan en la superficie del mar. Estos vientos son casi nulos en el centro, luego aumentan radialmente hasta alcanzar un máximo (a una distancia del orden de los 50 km del ojo), para que, posteriormente, disminuyan gradualmente a medida que se alejan de dicho centro.

Los vientos se dirigen hacia el centro del ciclón en dirección contraria al movimiento de las manecillas del reloj. Ellos forman un ángulo de aproximadamente 30° respecto a la dirección tangente de círculos concéntricos del ciclón tropical que señalen su distancia al ojo de este meteoro

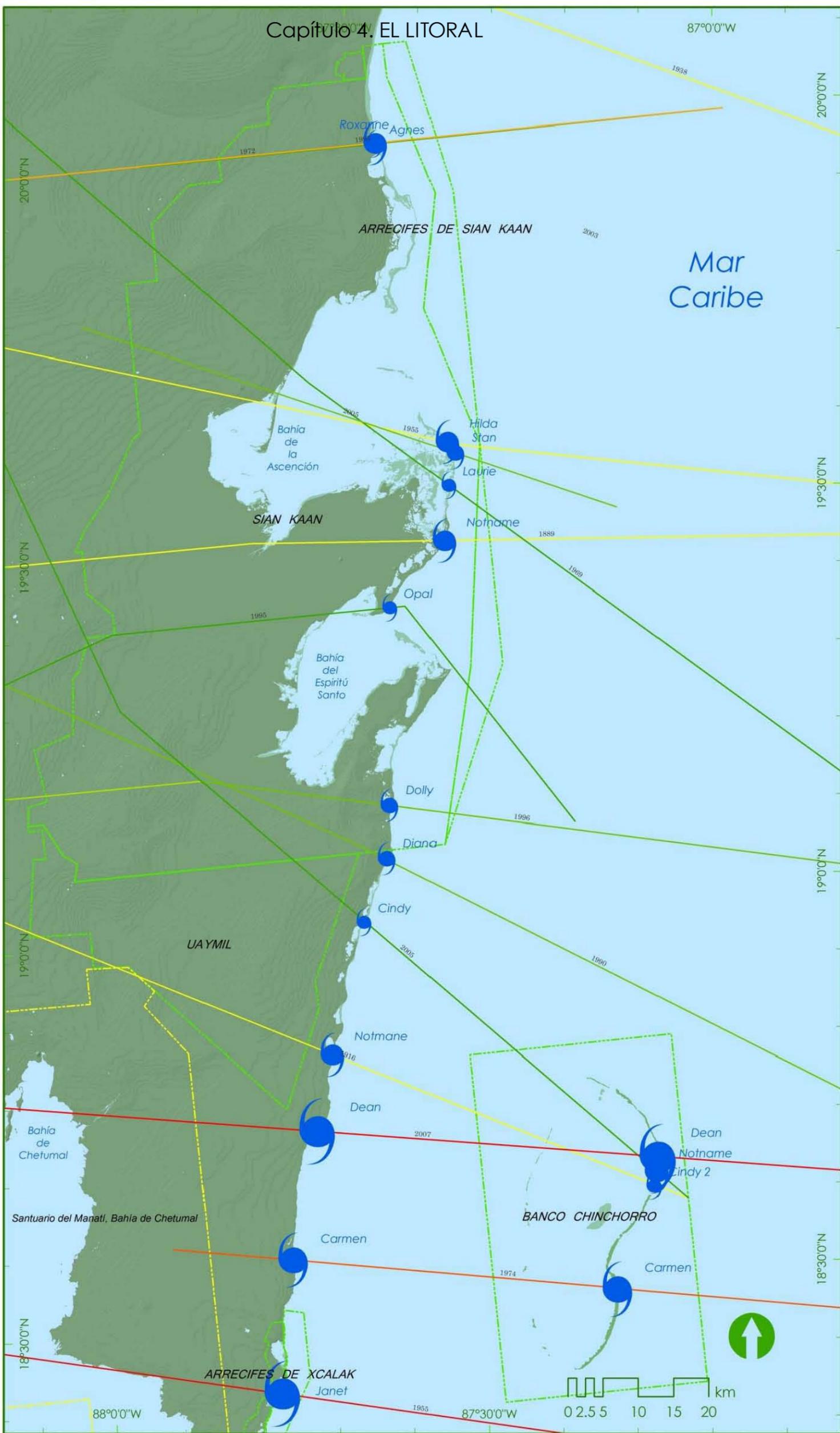
Cuando la dirección de los vientos es hacia la costa y ésta tiene la forma de una bahía, es mayor la sobreelevación del nivel medio del mar. Los vientos son más fuertes mientras la presión del ciclón tropical es menor. Así, en igualdad de ubicación, los huracanes categoría 5 producen una marea de tormenta mayor que los de categoría 1. Con el desplazamiento del ciclón tropical se modifican los vientos que soplan sobre la superficie del mar, por lo que el efecto de la marea de tormenta cambia a lo largo del tiempo; se estima que tienen una duración de 1 a 2 días.

Los daños por la marea de tormenta que se presentan cerca de la línea de costa se deben principalmente a la inundación y al impacto del oleaje. Ellos pueden reducirse, si se predice la marea de tormenta que causaría un ciclón de acuerdo con su trayectoria de desplazamiento y si se toman las medidas de protección pertinentes.

La marejada producida por un huracán representa el efecto potencial más peligroso del mismo. Históricamente han fallecido nueve de cada diez personas

como consecuencia de la tormenta. En algunos ciclones tropicales la marea de tormenta puede ser su efecto más destructivo. Entre las mayores devastaciones que ha causado en el continente americano están la de Galveston, Texas (6,000 muertes) del año 1900, la de huracán de 1932 que provocó en Cuba la muerte de 2,700 habitantes y el huracán Audrey en Louisiana de 1957 que originó una inundación en una franja costera de 40 km, en la que fallecieron 390 personas.

Capítulo 4. EL LITORAL



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM Colegio de Geografía/ Instituto de Ingeniería

"Función ecosistémica del manglar como estabilizador de la línea de costa en Quintana Roo"

Leyenda

Huracanes

- Depresión tropical
- Tormenta tropical
- H1
- H2
- H3
- H4
- H5

Altura de Marejada de Tormenta (m)

- 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 3.6
- 3.6 - 5.50
- 5.50 - +9.0

ANP

- Áreas Naturales Protegidas (CONANP)
- Áreas Estatales Protegidas

Presenta: David Gómez Palacios
 Asesor: Dr. Eduardo Reynoso Angulo

Fuentes:
 Huracanes: NOAA
 ANP: CONABIO y CONANP
 Topografía y Localidades: INEGI.

MAREJADA DE TORMENTA

Registros por huracanes.

Nivel del Mar

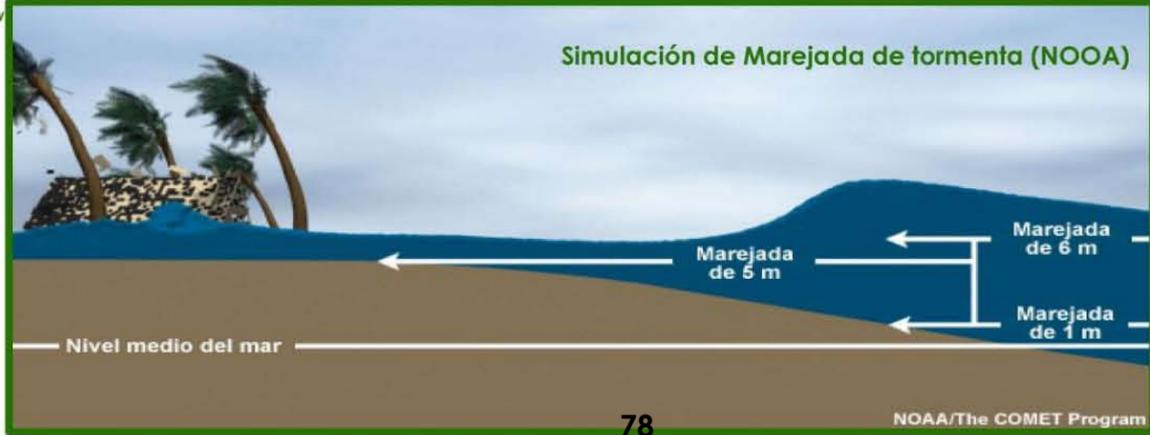
Categoría 1

Categoría 2

Categoría 3

Categoría 4

Categoría 5



Al no existir una relación entre la categoría en la escala *Saffir Simpson* y el diámetro del ojo de un huracán no se puede definir un área de “marejada de tormenta” para los eventos ciclónicos identificados en el área de estudio. Se identificó el punto en la línea de costa en que el evento ciclónico y se le asocio un valor de altura a la marejada de tormenta esperado de acuerdo a la categoría que presentaba en el momento del contacto. Las alturas máximas esperadas se identificaron para los huracanes *Dean* y *Carmen* en Banco Chinchorro. Debido a la batimetría en los primeros 100m a partir de la línea de costa, los valores máximos de profundidad no superan los 50m, se incrementa el riesgo de que la altura de las olas sea más elevado que en otras áreas donde la profundidad es mayor, si a esto se le combinan el efecto de las mareas el resultado puede llegar a ser una ola de altura significativa.

Debido a su geomorfología, la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an presenta dos bahías naturales, al norte Bahía de la Ascensión y al sur Bahía del Espíritu Santo, en estas, cuando se presenta marejada de tormenta, el incremento del nivel medio del mar es significativo debido a su configuración cerrada, se identificaron cinco huracanes los cuales han entrado a estas: *Opal*, *Laurie*, *Hilda*, *Stan* y un quinto sin nombre conocido.

Las marejadas de tormenta, es el fenómeno que mayor daño causa a la infraestructura urbana, siendo muy significativo en las áreas de la Riviera Maya, especialmente Cancún, Cozumel y Playa del Carmen. En el área de estudio, al no existir poblaciones humanas significativas, los daños son casi nulos, a excepción de Punta Allen y Banco Chinchorro, donde por medidas de precaución, Protección Civil ordena el desalojo obligatorio de estas áreas debido a su poca elevación sobre el nivel mar.

4.2.2.4 Tsunamis

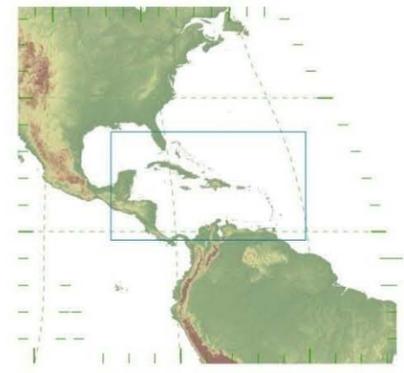
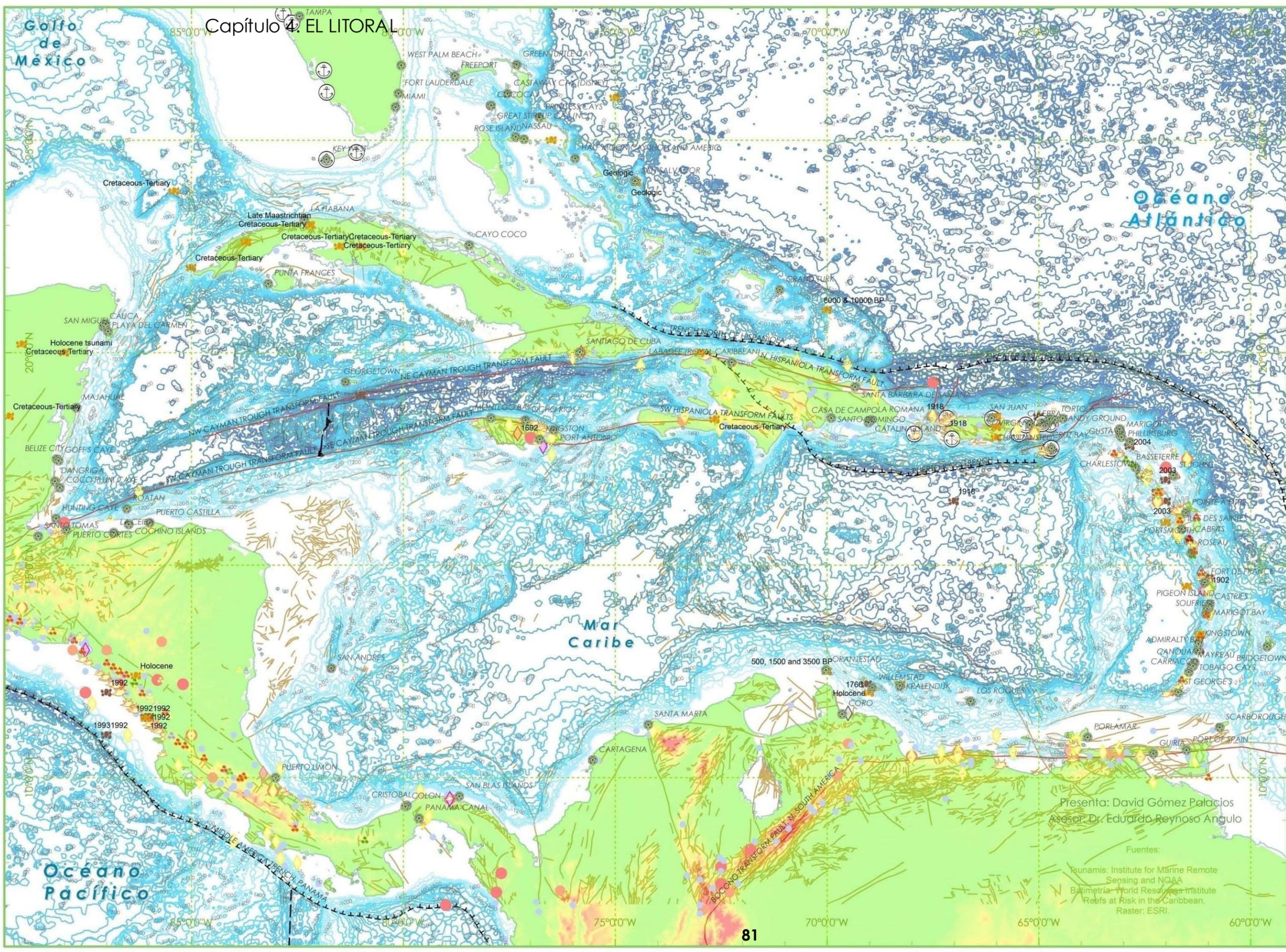
Tsunami es un vocablo de origen japonés; se trata de una palabra compuesta que significa literalmente “ola en el puerto” o “en la bahía”. (*Tsu*=puerto; *nami*=ola), por lo que de su traducción se desprende que se trata de un fenómeno eminentemente costero. Los tsunamis son ondas de largo período (el tiempo de paso entre una cresta y la siguiente puede espaciarse entre 5 y 30 min llegando en ocasiones a 60 min) y extraordinaria velocidad –dado que se propagan sin dispersión-, hasta el punto de que se han calculado, para profundidades de 4 km., velocidades de 1000km/h, siendo las más habituales en el Pacífico las que rondan los 700 km/h

Su origen se relaciona, por lo general, con movimientos sísmicos con epicentro marino y en menor medida, con erupciones volcánicas o con desplazamientos horizontales bruscos o de grandes taludes submarinos. En esas condiciones, la enorme energía liberada eleva la columna de agua –imperceptiblemente en la superficie- y provoca una onda que se desplaza vertiginosamente hacia la costa, afectando en especial a aquellas bahías en forma de “V” (estuarios, ríos, golfos), sobre todo si no existen fuertes contrastes de batimetría, y el estrán se dispone tendido suavemente. En ese caso, el tsunami se eleva paulatinamente sin romperse hasta alcanza una altura (diferencia entre la cresta y el seno inmediato) de 30 metros.

En el estudio de los tsunamis, éstos se caracterizan por su altura de ola, ya sea registrada en un mareógrafo o en los casos en los que no se disponga, por la altura de la inundación o altura que queda registrada en tierra por los efectos que produce. Atendiendo al origen del tsunami, el debido a terremotos producidos en el mar es el de mayor importancia en la prevención de tsunamis. Otra forma complementaria de abordar el fenómeno de la disminución del riesgo de tsunamis en una zona sin tener en cuenta las causas que lo producen. Así se pueden obtener valores de actividad esperable en una zona y la altura de la ola que estadísticamente pueda corresponderle.

La estadística de tsunamis en México se dificulta, de acuerdo con CENAPRED, debido a que las costas mexicanas (a excepción de algunos puertos como Acapulco, Veracruz, Mazatlán, Colima, Salina Cruz, etc.) permanecieron deshabitados y altamente aislados del centro del país y a que el monitoreo de la red de mareógrafos comenzó hasta 1952; debido a esto, hay vacíos en las bases de datos. El Catalogo de Tsunamis en la Costa Occidental de México documenta 49 tsunamis arribados desde 1732 hasta 1985: 16 de origen lejano y 33 de origen local. Virginia Acosta documenta que durante el siglo XVIII se reportan cuatro tsunamis, poco más de 10 para el siglo XIX y más de una docena en el siglo XX. Los datos hacen referencia espacialmente a los estados de Baja California, Veracruz, Colima, Michoacán, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Quintana Roo, Nayarit, Sinaloa, Campeche, Yucatán, Oaxaca y Chiapas.

Capítulo 4. EL LITORAL



Colegio de Geografía/
Instituto de Ingeniería

"Función ecosistémica del manglar como estabilizador de la línea de costa en Quintana Roo"

Leyenda

- Tsunamis Causantes:**
- ◆ Desconocido
 - ◆ Terremoto
 - ◆ Posible Terremoto
 - ◆ Terremoto y Deslizamiento
 - ◆ Erupción Volcánica
 - ◆ Erupción Volcánica y Deslizamiento
 - ◆ Deslizamiento
- Evidencias Geológicas**
- ◆ Paleo-depositos
 - ◆ Depósitos (Año)
- Máxima Altura de la Ola Registrada (m)**
- ◆ 0.00 - 0.46
 - ◆ 0.47 - 1.50
 - ◆ 1.51 - 3.70
 - ◆ 3.71 - 6.50
 - ◆ 6.51 - 10.00
- Volcanes (Estado)**
- ◆ Fumarólico
 - ◆ Histórico
 - ◆ Holoceno
 - ◆ Radiocarbono
 - ◆ Tefrocronológico
 - ◆ Incierto
- Otros elementos**
- ◆ Ciudad
 - ◆ Boya Marina
- Sismicidad (Escala Richter)**
- ◆ 0.0
 - ◆ 0.1 - 3.3
 - ◆ 3.4 - 5.0
 - ◆ 5.1 - 6.6
 - ◆ 6.7 - 8.3
- Límites tectónicos**
- ◆ Convergente
 - ◆ Transformante
 - ◆ Trincheras

Presenta: David Gómez Palacios
Asesor: Dr. Eduardo Reynoso Angulo

Fuentes:
Tsunamis: Institute for Marine Remote Sensing and NOAA
Bathymetry: World Resources Institute
Reefs at Risk in the Caribbean, Raster: ESRI.

Mapa K

TSUNAMIS Y RIESGOS GEOLÓGICOS EN EL CARIBE

Las bases de datos facilitadas por el USGS (*U.S. Geological Survey*) y la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) correspondientes a tsunamis (en formato *shapefile*) fueron sometidas mediante la herramienta CLIP en el *ArcToolBox* en ARCGIS 10.0 para extraer únicamente los registros en la Cuenca del Caribe, al mismo proceso fueron sometidos los *shapefiles* referentes a altura máxima registrada, depósitos y paleo-depósitos y las boyas de la Comisión Oceanográfica Internacional. Se identificaron 106 tsunamis en la Cuenca del Caribe, de los cuales 87 corresponden a terremotos, 2 asociados posiblemente a terremotos, 9 a terremotos que han presentados deslizamientos, 9 a erupciones volcánicas, 2 erupciones volcánicas con procesos de ladera, 1 a un deslizamiento aislado y 2 más cuyas causas son desconocidas.

De estos, los más cercanos, se encuentran en Honduras debido a terremotos, uno en la costa de Trujillo (terremoto de magnitud desconocida, 1855), Omoa (7.5 en la escala de Richter, 1856) y uno más en el año 2009 de magnitud 7.3 en la escala de Richter. La máxima altura de ola registrada para un tsunami corresponden a la isla Guadalupe (1867) con 10m de altura y a la costa de Venezuela (1900) con 10m también, estas de un total de 358 registros para la Cuenca del Caribe. Las más cercanas corresponden todas al litoral de Honduras, con registros para los años de 1539, 1825, 1855, 1856 (6 periodos de retorno, con olas de 5m en la localidad de Omoa), 1976 y 2009 (con olas de 4m en la localidad de Río Motagua).

Al mismo tiempo, existen evidencias de paleo depósitos asociados a tsunamis en el Caribe. Los más cercanos corresponden dos a México, uno a Cuba y uno más en Belice. Los dos más recientes corresponden al Holoceno, y se tienen registros en Tulum y Playa del Carmen, Quintana Roo (Shaw, 1996) y las islas Cayman (1662)

Se concluye que el riesgo de tsunamis para las costas del Caribe Mexicano es medio, puesto que frente a las costas de la región existen agentes generadores de tsunamis, el más significativo es el límite de placa transformante de las islas Caimán, que inicia en el Golfo de Honduras (donde en 1985 se registro un tsunami) y se extiende en forma paralela a los territorios de Belice y Quintana Roo, a unos 200km de la costa. Al final de la península atraviesa el canal de Yucatán y se une a la porción norte de Cuba con otra falla geológica que forma parte del Banco de Cuba y Bahamas. Además, la zona es receptora de tsunamis lejanos, principalmente de Honduras y las Antillas Menores. Finalmente, la configuración batimétrica de la costa de Quintana Roo aumenta el riesgo de que un tsunami lejano pueda alcanzar alturas significativas, debido a las profundidades someras que se presentan en la plataforma continental. El periodo de retorno para tsunamis de 10m en el Caribe es 1000 metros.

C. Experiencias mundiales

Muchas de las funciones ecosistémicas de regulación o soporte son conocidas por sociedades que tienen una cosmovisión más estrecha con su medio ambiente. Los servicios de regulación resultan de la existencia de propiedades emergentes de los ecosistemas, que son aquéllas que se expresan en el ecosistema completo pero no en sus partes por separado (por ejemplo, control de inundaciones, estabilización del suelo con la cobertura vegetal), y los servicios de soporte son los procesos ecológicos básicos que mantienen el ecosistema. Se trata de los procesos funcionales relacionados con la entrada, salida, almacenamiento y flujos internos de agua, energía y elementos minerales en el ecosistema. (Keddi, 2000)¹ Aunque no necesariamente suponen un beneficio directo para la sociedad, los servicios de soporte hacen posible los otros tres tipos de servicios ambientales. De manera empírica, las sociedades nativas han usado no sólo los recursos extractivos del manglar, sino también sus funciones de regulación o de soporte. Pedro Godo (2004)² reconoció, a través del estudio de sitios antropológicos en varias islas del Caribe, en algunos de los primeros sitios de asentamiento registrados en las Antillas Mayores y Centroamérica, que existía una convivencia con el ecosistema de manglar. Hoy en día, algunas poblaciones aún se asientan detrás de ecosistemas de manglar, barreras y dunas de arena, pues mitigan los efectos de los huracanes y el oleaje durante tormentas, además de brindar protección a sus propiedades.

En Quintana Roo, la productividad de los manglares ha sido aprovechada por los seres humanos de manera directa a través de la pesca, la recolección de plantas y la utilización de madera para construcción o leña, así como también por el efecto amortiguador de los humedales durante tormentas y huracanes, patrón reconocible en la arqueología maya, puesto que no existieron asentamientos mayas prehispánicos importantes junto al mar, con excepción de Tulum, cuya ciudad se encontraba sobre un macizo de roca calcárea que forma acantilados, y los centros ceremoniales de El Rey y Yax Kin en la isla de Cancún. Los mayas preferían tener sus ciudades en tierra firme y dejar la duna costera y el manglar sin perturbar. Para explotar los recursos marinos y de los humedales costeros, establecían campamentos temporales a los que accedían desde los poblados en tierra firme.

Los mayas con toda seguridad conocían la capacidad destructiva de los huracanes (Sandoval, 2010)³ En Quintana Roo, el patrón maya prehispánico de asentamientos fue la ubicación alrededor de grandes cenotes o junto a zonas inundables y lagunas interiores. Los mayas reconocieron los suelos inundables, sus usos y limitantes y les pusieron por nombre *a'kalché*.

A nivel mundial, fue el *tsunami* del Océano Índico en 2004 el que demostró la importancia de los ecosistemas de manglar y los arrecifes de coral como estabilizadores de la línea de costa, planteada en el informe del *Millennium Ecosystem Assessment* y demostrada con casos en las zonas afectadas por el *tsunami*.

C.1 El tsunami del Índico del 2004 como parteaguas en los servicios ecosistémicos

El terremoto más grande sobre la Tierra en las últimas cuatro décadas, un temblor de magnitud 9.0 en la escala *Richter*, golpeó la mañana del domingo 26 de diciembre de 2004 a poca distancia de la isla de Sumatra, en Indonesia. Este terremoto causó el tsunami más dañino registrado en la historia moderna. El temblor ocurrió a una profundidad de 30 km en el límite de la placa tectónica hindú, donde ésta se mueve por debajo de la Placa de Burma, que es más pequeña. Este movimiento, o subducción, tuvo un ángulo de inclinación muy pequeño (aprox. 10°) hacia el noreste. Conocido como evento "mega empuje", el desplazamiento a lo largo de las fallas de la zona de subducción fue de unos 15 m. El terremoto produjo varios minutos de temblores y una ruptura horizontal en la zona de subducción de unos 1,200 km. El movimiento del terremoto también desplazó el fondo del océano Índico hacia el oeste-suroeste unos 15 m en dirección horizontal y varios metros en dirección vertical. Este movimiento desplazó la masa completa de agua que se ubicaba sobre el fondo oceánico y produjo una serie de olas de tsunami. Estas olas se emitieron hacia afuera desde la zona del movimiento del fondo del mar y golpearon las islas indonesias en cuestión de minutos, y otros países horas más tarde.

En ese tiempo no se contaba con un sistema de alerta para tsunamis en el océano Índico, como lo hay para el Pacífico, y la gente, en su mayor parte, fue tomada por sorpresa. Las muertes provocadas por el tsunami en el Índico se estimaron en más de 228,000. (Keller, 2004)⁴ Más de tres cuartas partes de estas muertes fueron en Indonesia, que sufrió un importante terremoto, además del tsunami. Otros países con pérdida catastrófica de vidas humanas fueron Sri Lanka, India y Tailandia. En algunos casos se borró toda huella humana en amplias zonas, y en otros casos los daños fueron menores.

Una sociedad que olvida, es una sociedad vulnerable. En las islas Andamán, en el Golfo de Bengala, 840 personas pertenecientes a cinco tribus aborígenes resultaron ilesas gracias a los conocimientos transmitidos por sus antepasados tras el sismo y al observar el retroceso de la línea de costa, así como de los arroyos y otros cuerpos de agua en comunicación con el mar. Mención aparte de aquellos que se encontraban tras una densa franja de vegetación. De acuerdo con Keller,

Conclusiones

los antiguos residentes tienen una memoria cultural sobre el riesgo natural, en contraste con los inmigrantes más recientes.

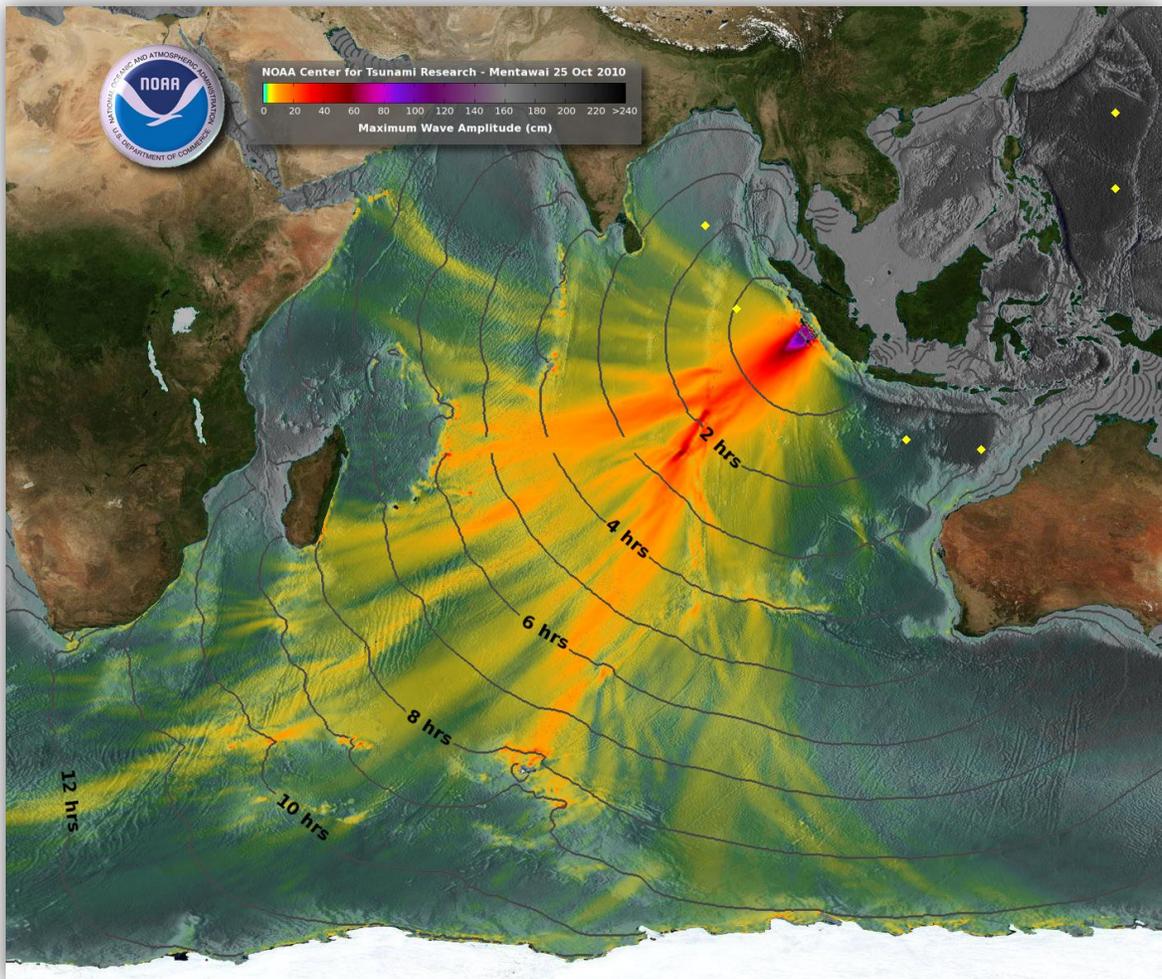


Figura C1. Evolución del tsunami de 2004 (relación altura de la ola/tiempo) Fuente: NOAA⁵

Posteriormente, y tras la contingencia que provocó el tsunami en los países del Índico dadas sus características y repercusiones, este fenómeno se convirtió en uno de los eventos más estudiados de los últimos tiempos, biólogos, ecólogos, geólogos y geógrafos pronto encontraron una relación entre las áreas más afectadas por las olas y las más transformadas por el humano, mientras que aquellas que conservaban sus características originales (especialmente

ecosistemas de manglar y arrecifes de coral) habían recibido un menor daño. Así por ejemplo, el *World Conservation Union* (IUCN) comparó las muertes en dos aldeas de Sri Lanka que fueron devastadas por el impacto de olas gigantes durante el tsunami: dos personas murieron en el asentamiento con abundante cobertura vegetal, mientras que en la aldea sin cobertura vegetal cerca de 6,000 personas murieron. Un estudio posterior señaló que el alto grado de alteración de los ecosistemas disminuyó la capacidad de protección de la línea de costa en el país insular, en el momento de hacer frente al fenómeno del 25 de diciembre.

Después del evento del 2004, muchas comunidades han comenzado no sólo a respetar la cobertura de manglar en sus regiones, sino también a plantarlo en diferentes áreas.⁶ En India, 172 familias fueron salvadas de los efectos del tsunami en la aldea pesquera de *Thirunal Thoppu* en el estado indio de Tamil Nadu, localidad donde la cobertura de manglar es abundante. Otro estudio demostró, mediante el análisis anterior y posterior de imágenes de satélite del Distrito de Cuddalore en el sureste de India, que una superficie de 30 árboles/1000 m² es capaz de reducir hasta en un 90% la energía de la ola de un tsunami.⁷ En India, la causa principal de pérdidas humanas fue la alta vulnerabilidad derivada del hacinamiento de la línea de costa y la presión y degradación sobre los recursos naturales.

En Indonesia, a pesar de ser el país con mayor cobertura de ecosistemas de manglar, de acuerdo con la FAO (el 30% del total mundial equivalente a 3 millones de hectáreas), la tala de este recurso en las últimas décadas ha causado la pérdida de 1.1 millones de hectáreas desde 1980, tala que se ha llevado a cabo con el fin de favorecer la instalación de proyectos de acuicultura y granjas camaroneras. Cuando el tsunami golpeó Banda Aceh, las estructuras construidas en tierra que anteriormente estaban protegidas por manglares fueron destruidas, mientras que cientos de hectáreas de granjas camaroneras fueron “tragadas” por el mar. Los remanentes de manglar que sobrevivieron al desarrollo de la industria camaronera fueron arrasados, puesto que eran demasiado pequeños para proteger a las estructuras cercanas.

La isla Simeuleu, localizada a sólo 41 km del epicentro del terremoto, sufrió muy poco del embate de las olas del tsunami, en parte por las importantes coberturas de manglar, arrecifes de coral y praderas de pastos marinos (ceibadales). Sólo se reportaron cuatro muertes asociadas al tsunami.

Por otra parte, Japón, uno de los países más afectados por este tipo de fenómenos, tras el paso del tsunami del 11 de marzo del 2011 y con el fin de buscar alternativas más baratas a las obras de ingeniería para controlar el oleaje y la marejada de tormenta de los ciclones⁸⁶, ha cultivado manglares de entre

200 y 300 m de ancho en algunas franjas costeras con el propósito de construir una barrera alrededor de áreas estratégicas ante un nuevo *tsunami*.

C.2 Manglares como estabilizadores de la línea de costa

La idea de que los manglares ofrecen una protección significativa se ha convertido en una sentencia de la ecología en las regiones tropicales, aunque este servicio ecosistémico no se haya comprobado del todo y la mayoría de los resultados, hasta ahora, estén basados en observaciones y métodos empíricos.

La respuesta depende del tipo de entorno ambiental y las características y condiciones particulares del medio geográfico. Los factores que determinan el alcance de la función del ecosistema de manglar como estabilizador de la línea de costa son: el ancho del ecosistema, la pendiente del suelo, la densidad de árboles, el diámetro de los troncos, la cantidad de suelo subyacente en las raíces, la altura de los árboles, la textura del suelo, la geomorfología de la línea de costa, la presencia de hábitats de playa (pastos marinos, arrecifes de coral, dunas) y la pendiente de la línea de costa y batimetría, así como las características e intensidades de los "riesgos" incluyendo la altura de las olas o marejada de tormenta, la velocidad del viento de un ciclón tropical, y la distancia de un evento tectónico o volcánico.



Figura C.2. Ecosistema de manglar tras el paso del huracán Dean (2007) en Banco Chinchorro.

Un factor muy importante a considerar es la posición del manglar con respecto a la línea de costa. Algunos autores sostienen la hipótesis de que no son las características del manglar las que mitigan los daños durante un evento extremo, sino la configuración cerrada o protegida de las costas las que mitigan el impacto de las olas. En el caso de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, la mayor parte de la superficie de manglar se encuentra protegida por la bahía de la Ascensión, la

más septentrional, y la Bahía del Espíritu Santo al sur, las barreras de arena y una cadena de arrecifes de coral continua y somera, así como por algunos parches

de pastos marinos. Sin embargo, un factor de riesgo en el caso de tsunamis y marejadas de tormenta es la configuración batimétrica de la línea de costa, lo que favorece que la altura de las olas sea mayor. En el caso de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, únicamente Cayo Central presenta cobertura de manglar la cual, a pesar de estar protegida por una extensa laguna arrecifal, fue completamente arrasada durante el paso del huracán *Dean* en el 2007 (categoría 5 en la escala *Saffir- Simpson*).



Figura C.3. Estabilización de la línea de costa tras el paso del huracán Dean (2007) en Banco Chinchorro

Las observaciones en campo, dos años después del paso del evento, mostraron que el ecosistema de manglar se encontraba completamente sin hojas, así como el subsuelo poco inundado, como resultado de la súbita pérdida del aporte de detrito y el poco flujo energético de otras especies. En las costas de Majahual, el punto continental donde tocó tierra el huracán *Dean*, la condición de los manglares era muy similar a la de Banco Chinchorro. Sin embargo, el suelo se encontraba fijo a las raíces de los manglares, siendo las de *Avicennia germinans* (mangle negro) las más evidentes. En aquellas secciones donde había de nuevo un flujo intermareal mucho más activo se pudo observar ejemplares de *Crocodylus acutus* (cocodrilo americano) y varias especies de escama en estado juvenil. En las pequeñas playas de Cayo Central se avistaron estructuras de coral

removido por la marejada de tormenta. Estudios posteriores del personal de la CONANP estimaron la recuperación del ecosistema de manglar en un periodo no mayor a diez años posteriores al paso del huracán.

Las evidencias geológicas y paleontológicas demuestran que la península de Yucatán experimentó un proceso de emersión desde el Oligoceno hasta el Holoceno, el cual se acompañó con las fluctuaciones de la última glaciación, lo que provocó que la superficie y distribución de los ecosistemas litorales fluctuara a lo largo del tiempo. Hay evidencias fósiles de ambientes litorales en la línea batimétrica de 110 m de la costa de Quintana Roo como resultado del retroceso del nivel del mar durante el Pleistoceno y el posterior avance de la línea de costa durante el Holoceno (Hubp, 1992)⁸, lo que señala la adaptación de los manglares y ecosistemas litorales a los acelerados cambios climáticos del Cenozoico. Sin embargo, la capacidad de adaptación del manglar en la región se encuentra reducida debido a la intervención humana, siendo más evidente en el norte del estado, en la Riviera Maya, especialmente en Cancún y el área entre Tulum y Playa del Carmen, lugares que son especialmente sensibles debido a la pérdida de los ecosistemas originales por huracanes. La resiliencia del manglar puede



Figura C.4. Ejemplar de *Crocodylus acutus* en Banco Chinchorro.

verse comprometida debido a la intervención humana en las escalas local y regional, e incluso mundial, y la alteración del sistema climático a nivel global.

2.1 Ventajas

- Ante un fenómeno extremo, los manglares reducen la velocidad y la fuerza de las olas (debido a la fricción creada con la densa cobertura vegetal) y la distribución del agua a lo largo de canales y estuarios, lo que propicia una disminución en las inundaciones.
- El uso de los manglares como “estabilizadores de la línea de costa” puede funcionar de manera preventiva en el manejo o mitigación de la

vulnerabilidad esperada ante un desastre natural, al mismo tiempo que se hace un uso sustentable del territorio. Asimismo representa una alternativa más económica que la construcción de infraestructura destinada a “controlar” los fenómenos naturales que actúan en la línea de costa.

- ✿ Dependiendo de la intensidad y escala de los riesgos en la línea de costa, la recuperación del ecosistema de manglar es rápida (6-10 años).
- ✿ El reconocimiento y uso de los manglares como “estabilizadores de la línea de costa” puede servir para la generación de un “pago por servicios ecosistémicos” para los particulares, que al mismo tiempo motive la conservación del medio ambiente.
- ✿ La conservación de los manglares para el óptimo desarrollo de sus servicios ecosistémicos de regulación proporcionaría un “efecto sombrilla” para otras especies que hacen del manglar su hábitat (ej. peces en estado juvenil, aves migratorias) y para ecosistemas que están en un flujo constante con los manglares (arrecifes de coral, cenotes).
- ✿ La conservación de los manglares puede generar alternativas de desarrollo sustentable con la extracción o uso de los servicios de provisión, o la explotación de los servicios culturales (ej. ecoturismo) con el fin de concientizar no sólo a las sociedades locales, sino también a las externas de su responsabilidad con respecto a la conservación de los ecosistemas.

2.2 Desventajas

- ✿ No está claro aún la relación-función de factores biológicos que influyen en las funciones ecosistémicas de regulación del manglar; entre ellas sobresalen la altura de las olas y la velocidad del viento, la topografía y la configuración geomorfológica de la línea de costa.
- ✿ Es importante señalar que en las franjas estrechas de manglar los efectos positivos pueden ser reducidos e incluso negativos cuando son arrastrados, provocando daños.
- ✿ No es viable económicamente ni ecológicamente el establecimiento de ecosistemas de manglar artificiales en líneas de costa abiertas.

Los manglares son, para los humanos, un escudo para salvaguardar sus vidas y sus bienes. Así pues, el manejo sustentable de la línea de costa y los programas de restauración y de manejo del recurso, serán clave en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

Capítulo 1

- ¹ Santos, Milton (2000) "La naturaleza del espacio: técnica y tiempo. Razón y emoción" Ariel (Ariel Geografía) Barcelona, España
- ² Blaikie, Piers et. al (1996) "Vulnerabilidad: El entorno social, político y económico de los desastres" LA RED. Recurso en línea
- ³ Alcantara-Ayala Irasema (2001) "Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries" *El Servier-Geomorphology*. Massachusetts, USA
- ⁴ Aysan, Y (1993) "Vulnerability Assessment", *Natural Disasters: Protecting vulnerable communities*. Marrison P.A, Brown, C.V IDNDR. Londres, Inglaterra
- ⁵ Cannon, Terry (1994) "Vulnerability Analysis and the Explanation of "Natural Disasters" En Varley, Anne. "Disasters, development and environment" John Willey & Sons. Chichester, Inglaterra
- ⁶ Ayala, F.J. y Olcina, J. –Coordinadores- (2002) "Riesgos Naturales". Ariel, Ciencia. Barcelona, España
- ⁷ Lugo Hubp, Hugo et.al.(2002) "Desastres Naturales en América Latina" Fondo de Cultura Económica de España, S.L. México
- ⁸ Keller A, Edward y Blodgett H. Robert (2007) "Riesgos Naturales: Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes". Traducción Gil Ruiz. Pearson/Prentice Hall. Madrid, España
- ⁹ Bruneau, Michel y Tierney, Kathleen (2007) "Conceptualizing and Measuring Resilience. A Key to Disaster Loss Reduction" TR News. TBR Publications.
- ¹⁰ Sousa, W.P. (1984) "The role of disturbance in natural communities". *Annual Review of Ecology and Systematics*
- ¹¹ Darwin, Charles (1850) "El Origen de las Especies" *Época*
- ¹² J. Tarbuck, Edgard y Lutgens K., Frederick (2005) "Ciencias de la Tierra: Una introducción a la Geología Física [8ª. Edición]" PEARSON-Prentice Hall, Madrid, España
- ¹³ Manson H. Robert y Jardel P., Enrique J. (Responsables) (2009) "Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecoregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico" en Capital Natural de México: Estado de Conservación y Tendencias de Cambio. Volumen II. CONABIO, México DF
- ¹⁴ Pickett, S.T.A., et.al (1997) "The ecological basis of conservations: Heterogeneity, ecosystems and biodiversity". Chapman & Hall, New York
- ¹⁵ Pedraza Gilsanz, Javier (1996) "Geomorfología: Principios, Métodos Y Aplicaciones" Rueda. España
- ¹⁶ Grinevald, Jacques (2007) "La Biosphère de l' anthropocène" Georg éditeur.
- ¹⁷ Ramonet, Ignacio –Director- (Achcar, Gilbert et.al)(2007) "El Atlas II de Le Monde Diplomatique" Edición Española. Le Monde Diplomatique, Madrid, España
- ¹⁸ Constanza, Robert y Voinov, Alexey (2004) "Landscape simulation modeling: a spatially explicit, dynamic approach" Springer.

¹⁹ Palom Ribas Anna y Sourí Pujol, David (2006) "Cáp.13: De la Geografía de los riesgos a las geografías de la vulnerabilidad" del libro de Nogue, Joan y Romero, Juan [compiladores] (2006) "Las Otras Geografías" Tirant lo Blanch – Crónica. Valencia-España

²⁰ Maskrey, Andrew (1993) "Los desastres no son naturales" Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina

²¹ Ortega Valcárcel, José (2000) "Los horizontes de la geografía: teoría de la geografía", Ariel (Ariel geografía), Barcelona, España

Capítulo 2

¹ INEGI (2011) "Censo de población y vivienda 2010"

² Pozo, Carmen et. al. (2011) "Riqueza biológica de Quintana Roo: Un análisis para su conservación" Tomo 1. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (PPQ) México, DF

³ Ortiz Pérez, Mario Arturo et al. (2006) "Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional". Geografía para el Siglo XXI Serie Textos Universitarios. México DF

⁴ Barrera, Alfredo (1980) "Diccionario Maya Cordemex; Maya-Español. Español-Maya" Ediciones CORDEMEX, Primera Edición. Mérida, Yucatán.

⁵ Ficha Informativa de los Humedales RAMSAR (FIR) Sian Ka'an

Capítulo 3

¹ Freeman, S. "Fundamentos de Biología". Pearson/Prentice Hall. Madrid, España.

² Manson, H.R., Jardel, P. & Enrique, J. (responsables) (2009) "El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural" en Capital Natural de México: Estado de Conservación y Tendencias de Cambio. Volumen II. CONABIO, México DF.

³ Gutiérrez Elorza, Mateo (2008) "Geomorfología" Pearson/Prentice Hall. Madrid, España.

⁴ Hubp, Lugo et. al. (1989) "Diccionario geomorfológico con equivalentes de los términos de uno más com ún en alemán, francés, inglés y ruso" 1era edición. Coordinación de Ciencias, UNAM. México, DF.

⁵ Alcamo, Joseph (2000) "Changes in Ecosystem Services and their Drivers across the Scenarios" en Millennium Ecosystem Assessment.

⁶ Rzedowski, Jerzy (1978) "Vegetación de México" Limusa. 1era. Edición Digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

⁷ Bird, G (2000) "Coastal Geomorphology. An Introduction". John Wiley. Chichester.

⁸ NOM 059 SEMARNAT 2010 (2010) "Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo". Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre de 2010.

- ⁹Smith, Thomas y Smith, Robert Leo (2007) "Ecología". Pearson/Prentice Hall. Madrid, España.
- ¹⁰Tomlinson, P.B. (1986) "The Botany of Mangroves" Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- ¹¹López Portillo, Jorge y Ezcurra, Exequiel (2002) "Los manglares de México: una revisión" Artículo de Forum. Madera y Bosques. Número especial, 20012: 27-51.
- ¹²Fueyo, Luis (2008) "Manglares de México" Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO. México, DF.
- ¹³Bravo de Guenni, Lelys (2000) "Regulation of Natural Hazards: Floods and Fires" en Millennium Ecosystem Assessment.
- ¹⁴Barbier, Edward B. (2011) "Progress and Challenges in Valuing Coastal and Marine Ecosystem Services" Review of Environmental Economics and Policy, Vol. 6. Issue 1. Wyoming, USA.
- ¹⁵Danielsen, Finn et. al. (2005) "The Asian Tsunami: a protective role for coastal vegetation" Science Vol. 310.
- ¹⁶Shuto, N (1992) "The effectiveness and limits of tsunami control forest" Coastal Engineering in Japan, Vol. 30.
- ¹⁷Ishikawa, M (1998) "The functions of prevent to fog, tide and windblown sand" Aggregate corporation of Japan Association for Forestry Protection and River Improvement.
- ¹⁸Harada, Kenji & Imamura, Fumihiko (2002) "Effects of Coastal Forest on Tsunami Hazard Mitigation".
- ¹⁹Hiraishi, Tetsuya y Harada, Kenji (2003) "Greenbelt Tsunami Prevention in South-Pacific Region" Report of the port and airport research institute. Vol. 42, No. 2.
- ²⁰Mkapa, Benjamin William (2007) "The Protective Role of Coastal Mangroves" Wildlife Conservation Society of Tanzania (WCST)".
- ²¹Wolanski, E. (1995) "Transport of sediment in mangrove swamps" Hidrobiologia 295.
- ²²Young, B.M. y Harvey, L.E. (1996) "A spatial analysis of the relationship between mangrove (*Avicennia marina* var. *australasica*) physiognomy and sediment accretion in Hauraki Plains, New Zealand. Estuarine Coastal and Shelf Science 42.
- ²³Odum, E.P. y Barrett, G.W. 2004. "Fundamentals of Ecology", 5th ed. Brooks-Cole, Belmont, CA, 558 pp.
- ²⁴Alongi, Daniel M. (2007) "Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change" Estuarine Coastal and Shelf Science 76.
- ²⁵Woodruffe, C.D., (1992) "Mangrove sediments and geomorphology". In:Robertson, A.I., Alongi, D.M. (Eds.), Tropical Mangrove Ecosystems.American Geophysical Union, Washington, D.C.
- ²⁶Duke, N.C., (1992). "Mangrove floristics". In: Robertson, A.I., Alongi, D.M.(Eds.), Tropical Mangrove Ecosystems. American Geophysical Union, Washington, D.C.

²⁷ Yulianto, E., Rahardjo, A.T., Noeradi, D., Siregar, D.A., Hirakawa, K., (2005). "A Holocene pollen record of vegetation and coastal environmental changes in the coastal swamp forest at Batulicin, south Kalimantan, Indonesia" *Journal of Asian Earth Sciences* 25

²⁸ Hull, K., (2005). "Ancient mangroves reveal rapid sea-level rise". *Australasian Science*

²⁹ Hanebuth, T., Stattegger, K., Grootes, P.M., (2000). "Rapid flooding of the Sunda Shelf: a late-glacial sea-level record". *Science* 288

³⁰ Guilcher, A. (1988) "Coral Reef Geomorphology" Wiley. Chichester.

³¹ Shepard, F.P (1959) "The Earth Beneath the Sea". Oxford University Press, London.

³² Spenser, T (1988) "Costal biogeography" in Viles H.A. (Ed.): The Changing Global Environment. Blackwell, Oxford.

³³ Ruiz-Luna, A., J. Acosta Velazquez (2008) "On the reliability of the data of the extent of mangroves: A case study in Mexico. *Ocean and Coastal Management* 51.

³⁴ Clinton J, Daves (1986) "Botánica Marina" pp. 553-579. Universidad del Sur de Florida, Ed. Limusa, México.

³⁵ NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-022-SEMARNAT-2003, Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas.

Shapefile

^a INEGI (2007) "Cartografía de Humedales Potenciales de México (Conjunto Nacional). Escala 1: 250, 000" Aguascalientes, México.

^b IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010 (2010) "Mangroves-higher taxonomy and Red List status" IUCN. The International Union for Conservation of Nature (IUCN).

^c IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010 (2010) "Corals-higher taxonomy and Red List status" IUCN. The International Union for Conservation of Nature (IUCN).

^d CONABIO (2008) "Distribución de los manglares de México" Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Capítulo 4

¹ Carter, R.W.G. (1991) "Coastal environments: An introduction to the physical, ecological and cultural system of coastlines", Academic Press, San Diego, California

² Gracia, F.L.; Brenavente J. y Anfuso G (2000) "Clasificación de costas y ambientes marinos litorales; Problemas terminológicos", en J.R. de Andrés y F.J. Gracia (eds.) Geomorfología Litoral; Procesos Activos, Monogr. S.G.E. N.º7, ITGE y Serv. Publ. Univ. Cádiz, pp 13-30

³ Dabrio, C.J.; Zazo, C. (1993) "Litoral y riesgos geológicos en zonas litorales" en F. Ayala (ed.), V Reun. Nac. De Geol. Ambiental y Ord. Territorio, Murcia, Ponencias.

⁴ Schiermier, Q (2005) "Tsunamis: A long term threat". *Nature. International Weekly Journal of Science.* No. 433, 4

⁵ De la Lanza, E. Guadalupe (2001) "Características físicas y químicas de los mares de México" Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México y Plaza-Valdez, México, DF

⁶ Pedraza G., Javier (1996) "Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones" Rueda, Madrid, España

⁷ Bird, Eric (2008) "Coastal geomorphology: an introduction" Wiley, Portland, Oregon

⁸ Massenlink, Gerhard y Hughes, Michael (2003) "Introduction to coastal processes and Geomorphology" Hodder Arnold Publication. Sidney, Australia

⁹ Merino, M (1986) "Aspectos de la circulación costera superficial del Caribe mexicano con base en observaciones utilizando tarjetas de deriva" An. Inst. Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México, 13 (2)

¹⁰ Jordam E., y E. Martín (1987) "Chinchorro: morphology and composition of a Caribbean Atoll. Atoll Res. Bull (310)

¹¹ Geonoticias. Instituto de Geofísica, UNAM. Año 9, No, 69. Junio-Julio 2002

¹² Espinoza J., Martín et.al. (2007) "Ciclones tropicales" Serie Fascículos. CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES. Secretaría de Gobernación. México, DF.

Conclusiones

¹ Keddy, P.A. (2000) "Wetland Ecology. Principles and Conservation" Universidad de Cambridge. Reino Unido.

² Godo Torres, Pedro P. y Pino, Milton (2004) "Sociedades aborígenes de Cuba: sistemas de asentamiento y economía de manglar en ecosistemas de manglar en el archipiélago Cubano" Editorial Academia. UNESCO. La Habana, Cuba.

³ Correa Sandoval, Jorge (2010) "Capítulo 3: Humedales en Riqueza Biológica de Quintana Roo: Un análisis para su conservación" El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), CONABIO, Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (PPD), México DF.

⁴ Keller, A, Edward y Blodgett H. Robert (2007) "Riesgos Naturales: Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes" Pearson/Prentice Hall. Madrid, España.

⁵ NOAA

⁶ Kinver, Mark (2005) "Tsunami: Mangroves 'saved lives'. BBC NEWS.

⁷ World Wildlife Fund (2005, October 28). Mangroves shielded communities against tsunami. Shuieldedf Communities Against. Retrieved January 6, 2012.

⁸ Lugo, Hubp et al. (1992) "Rasgos geomorfológicos mayores de la Península de Yucatán" Revista del Instituto de Geografía. Volumen 10, Número 2.