

# ASPECTOS GENERALES DE **LA ZONA COSTERA**

Rodolfo Silva Casarín  
Ma. Luisa Martínez  
Patricia Moreno-Casasola  
Edgar Mendoza Baldwin  
Jorge López-Portillo  
Debora Lithgow  
Gabriela Vázquez  
Rubí E. Martínez Martínez  
Roberto Monroy Ibarra  
Jorge Iván Cáceres Puig  
Arturo Ramírez Hernández  
Mariana Boy Tamborrell





ASPECTOS GENERALES DE  
**LA ZONA COSTERA**

Primera Edición 2017

D.R. © 2017 Instituto de Ecología, A.C.  
Carretera antigua a Coatepec no. 351,  
El Haya, Xalapa, Veracruz 91070, México  
<http://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/>

ISBN: 978-607-7579-77-9

Noviembre, 2017

# ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA COSTERA

ISBN: 978-607-7579-77-9

Rodolfo Silva Casarín  
Ma. Luisa Martínez  
Patricia Moreno-Casasola  
Edgar Mendoza Baldwin  
Jorge López-Portillo  
Debora Lithgow  
Gabriela Vázquez  
Rubí E. Martínez Martínez  
Roberto Monroy Ibarra  
Jorge Iván Cáceres Puig  
Arturo Ramírez Hernández  
Mariana Boy Tamborrell

Publicación en línea:

<http://www.inecol.mx/inecol/libros>

Forma sugerida para citar este libro:

Silva, R., Martínez, M.L., Moreno-Casasola, P.,  
Mendoza, E., López-Portillo, J., Lithgow, D., Vázquez,  
G., Martínez-Martínez, R.E., Monroy-Ibarra, R.,  
Cáceres-Puig, J.I., Ramírez-Hernández, A., Boy-  
Tamborell, M. 2017. *Aspectos generales de la zona  
costera*. UNAM; INECOL. 54pp.

El cuidado editorial de la obra *Aspectos generales  
de la zona costera* estuvo a cargo de la Unidad  
de Promoción y Comunicación del Instituto de  
Ingeniería, de la Universidad Nacional Autónoma de  
México (IIUNAM), Ciudad Universitaria, C.P. 04510,  
México, Ciudad de México.

Unidad de Promoción y Comunicación del IIUNAM.  
Israel Chávez Reséndiz

Diseño:

Natalia Cristel Gómez Cabral

Oscar Daniel López Marín

Fotografía de portada:

Gerardo Sánchez Vigil

## **I CONTENIDO**

<b>Pág. 9</b>	<b>PRESENTACIÓN</b>
<b>Pág. 11</b>	<b>CAPÍTULO 1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA ZONA COSTERA</b>
<b>Pág. 15</b>	<b>CAPÍTULO 2. CELDA LITORAL</b>
<b>Pág. 19</b>	<b>CAPÍTULO 3. EVOLUCIÓN DE LAS COSTAS</b> Formaciones derivadas de la erosión costera Formaciones derivadas de la acumulación costera
<b>Pág. 27</b>	<b>CAPÍTULO 4. DUNAS COSTERAS</b> Clasificación de acuerdo con su posición Clasificación de acuerdo con sus características topográficas Clasificación de acuerdo con la cubierta vegetal
<b>Pág. 37</b>	<b>CAPÍTULO 5. GENERALIDADES DE LOS CUERPOS DE AGUA</b> Lagunas costeras Albuferas Estuarios Deltas y llanuras de inundación Esteros Marismas Manglares Bahías Salinas Características de las bocas lagunares Variables que gobiernan a los cuerpos de agua costeros
<b>Pág. 47</b>	<b>CAPÍTULO 6. CONCEPTOS BÁSICOS DE GESTIÓN DE LA COSTA</b> Interacciones e interconexiones Gestión de las dunas Lado a lado: acantilados, playas, dunas, humedales y lagunas
<b>Pág. 51</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>



## **I PRESENTACIÓN**

La zona costera es el ambiente más dinámico de la tierra y la única región a lo largo de todos los continentes donde interactúan la tierra, la atmósfera, el mar y el agua dulce. Su adaptabilidad le permite amortiguar la energía del oleaje, del viento y de las corrientes. Por ello, uno de los principales beneficios que brinda a la sociedad es la protección de sus habitantes, sus posesiones, su riqueza ecológica y sus medios de vida.

Actualmente, una de las principales amenazas que enfrenta la sociedad es el cambio climático y algunas de sus consecuencias están ya teniendo un fuerte impacto sobre la zona costera, a saber, elevación del nivel del mar, acidificación de los mares, pérdida de playa seca, entre otras. Por lo anterior, la conservación del papel protector de las costas a través la preservación de sus elementos bióticos y abióticos es un aspecto crítico en la continuidad de las actividades que se desarrollan en el litoral.

En adición a la presión que representa el incremento del nivel medio del mar, el aumento en la intensidad de las actividades económicas y el crecimiento no controlado de los asentamientos humanos generan rigidez, degradación y fragmentación en la costa. Esto supone una combinación de efectos que deriva en una reducción del espacio necesario

para que se desarrollen tanto los procesos naturales como la actividad humana, fenómeno que se ha denominado “opresión costera”. La principal consecuencia de la opresión costera es que tanto la sociedad como los ecosistemas naturales están en riesgo con tendencia creciente. Por lo anterior, y dado que las amenazas naturales no son controlables, se hace necesaria una zonificación que contribuya de manera determinante a un manejo adecuado de la costa.

La zonificación es el proceso de división, organización y planificación de los espacios que conforman la zona costera, definida en el presente libro como la superficie terrestre que ocupan los ecosistemas costeros de lagunas, playas, dunas, manglares y humedales que toleran cambios de salinidad, incluida la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT). La zonificación tiene por objeto delimitar el territorio mencionado y establecer sus usos y actividades actuales y potenciales, expresados como usos preferentes y representados geográficamente en planos que identifican, entre otros aspectos, su extensión, características generales, y las condiciones y restricciones para su administración. Asimismo, en el proceso de zonificación deben proponerse medidas que favorezcan la conservación del equilibrio dinámico del ambiente costero en beneficio de la sociedad sin dejar de lado la posibilidad de atraer inversiones públicas y privadas. A su vez, se deben ofrecer herramientas para que las autoridades puedan contar con un alto nivel de certeza respecto del uso sustentable de los espacios costeros y garantizar los servicios ambientales que estos ecosistemas proporcionan a la sociedad.

El Proceso de Zonificación se refleja en un Plan, acordado en un escenario amplio de potenciales de desarrollo, que ha de tomar en cuenta los intereses regionales, locales y sectoriales. El propósito es mantener el funcionamiento de los ecosistemas costeros y mejorar las condiciones de vida de las comunidades, dando lugar a un desarrollo sustentable en la zona costera.

México es un país con un largo litoral marino, alrededor de 11,592 kilómetros, sin tomar en cuenta las islas. Un alto porcentaje de este territorio aún no presenta edificaciones. Sin embargo, en algunas zonas, la ocupación está ocurriendo de manera acelerada, con alta densidad y, con frecuencia, poco regulada. Los impactos indirectos de la infraestructura y el cambio climático ya están afectando negativamente tanto las zonas ocupadas como en las libres de edificaciones y aún en las costas de

las áreas naturales protegidas. Afortunadamente, gran parte del litoral mexicano representa, una gran oportunidad para el desarrollo sustentable que, bajo un esquema de planificación adecuado, redunde en un beneficio para la sociedad. Esta oportunidad es también un reto que debe ser abordado a través de un esquema de zonificación que garantice el funcionamiento de los ecosistemas costeros, beneficie a las comunidades costeras y estimule el desarrollo económico sustentable. |



Boca del Río en la noche. Fotografía: Reyesbaglietto, licencia CC BY-NC-SA 2.0

## I Capítulo 1.

# CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA ZONA COSTERA

La zona costera constituye una delgada franja continua que no ocupa grandes superficies pero bordea toda la interfaz mar-tierra del planeta. Las costas constituyen paisajes sumamente diversos, resultantes de una gran heterogeneidad geomorfológica, climática, ecológica y socioeconómica. Son regiones altamente productivas, por lo que numerosas culturas se han desarrollado en base a la riqueza natural de sus ecosistemas. Hoy en día, las costas son zonas de gran importancia económica por sus recursos pesqueros, energéticos, turísticos, industriales y urbanos.

Existen numerosas definiciones de zona costera, dependiendo del énfasis o inten-

ción, las hay administrativas, geográficas, ecológicas y geológicas, entre otras. Una definición funcional describe a la zona costera como la frontera o transición donde interactúan tres grandes sistemas que ejercen influencia sobre esta frágil franja (Cotler, 2010). Ortiz-Pérez y De la Lanza-Espino (2006) proponen una definición que busca balancear los criterios funcionales con los operativos y define a la zona costera como “la porción de territorio desde el límite marino de la plataforma continental y mar territorial, hacia el mar, hasta los límites geopolíticos de los municipios que tienen frente litoral o están contiguos, tierra adentro”. Por su ubicación y características, la zona costera constituye una región amplia y heterogénea que mantiene intensas interacciones físicas, biológicas y socioeconómicas, donde ocurre un intercambio dinámico de energía y materiales entre ecosistemas terrestres, marinos y la atmósfera (Moreno-Casasola e Infante Mata, 2010). De manera general, se puede decir que la costa es un dominio geológico, ecológico, biológico y socioeconómico único y de gran importancia para numerosas formas de vida, incluyendo la humana, y que presenta una gran fragilidad al ser la región más dinámica y cambiante del planeta.



En el presente trabajo, la zona costera es la superficie terrestre que ocupan los ecosistemas costeros de lagunas, playas, dunas, manglares y humedales que toleran cambios de salinidad y se consideró cubre cinco kilómetros tierra adentro desde la orilla del mar. En ese espacio se ubican las áreas bajo administración federal y de interés de la Dirección General de Zona Federal Marítimo Terrestre y Ambientes Costeros (DGZOFEMATAC): la zona federal marítimo terrestre, las playas marítimas y los terrenos ganados al mar o a cualquier otro depósito natural de aguas marítimas.

La zona costera está conformada por una gran cantidad de subsistemas interconectados, desde terrestres (pioneras de playas, pastizales y selvas sobre planicies y sobre dunas costeras, vegetación de acantilados y dunas costeras), dulcea-cuícolas (lagos de agua dulce, zonas bajas

de ríos), humedales arbóreos y herbáceos de agua dulce (selvas inundables, tulares), salobres (manglares y marismas), y marinos (planicies de pastos marinos, arrecifes), todos con funciones que no pueden ser duplicadas en ningún otro ecosistema.

El funcionamiento de toda la zona costera depende de factores y procesos internos y externos que ocurren a diferentes escalas. Incluyen a las cuencas, en la parte terrestre, y a las celdas litorales en la zona marina. En las cuencas, el agua de lluvia fluye por la zona continental en ríos interiores, lagos, lagunas y manto freático.

Una parte del agua escurre de manera superficial y otra sub-superficialmente hacia las zonas bajas, alimentando humedales de agua dulce, manglares, lagunas, playas y dunas y, desemboca al mar alcanzando la plataforma continental. Estos flujos movilizan sedimentos, nutrientes



Humedal herbáceo y selva inundable. Fotografía: Debora Lithgow

y contaminantes. A lo largo de las celdas litorales, las corrientes transportan sedimentos en sentido transversal y longitudinal a la costa, a veces regresándolos a los ecosistemas costeros y otras veces perdiéndolos en los fondos marinos (Moreno-Casasola e Infante Mata, 2010).

Las cuencas se pueden dividir en tres secciones, con diferentes funciones, tanto desde el punto de vista del agua como de los sedimentos que acarrean. La parte superior corresponde a la cuenca alta donde diferentes arroyos confluyen hasta formar un río que se desplaza por una pendiente pronunciada y donde el agua se infiltra al subsuelo. La cuenca media es la zona de transporte, en ella hay un equilibrio evolutivo entre el material sólido depositado por la disminución de la velocidad de la corriente y el que es arrastrado o puesto en suspensión. Finalmente, la

cuenca baja es donde se unen el agua que fluye superficialmente y el agua que emerge del subsuelo formando humedales en donde se deposita el material proveniente de la parte alta de la cuenca. Este material es el que finalmente contribuye a la formación y mantenimiento de playas y dunas costeras. Conforme corre por la cuenca, el agua continental se acerca a la zona costera y se mezcla con el agua del mar, por lo que incrementa su salinidad hasta igualar la del mar. En algunos casos, si hay evapotranspiración, la salinidad es aún mayor como sucede en las zonas hiperhalinas que forman los manglares y las marismas (Figura 1). En condiciones naturales, los flujos sedimentarios antes mencionados, se encargan de evitar la subsidencia de los humedales y de mantener el equilibrio dinámico en las playas y dunas costeras, por lo que son uno de los principales con-



Figura 1. Esquema de una cuenca que muestra cómo se van uniendo los arroyos para formar un río que llega a la planicie costera. En la parte baja se establecen humedales a ambos lados del cuerpo de agua (tomado de Moreno-Casasola e Infante Mata, 2010).

tribuyentes de la geomorfología de la zona. Así, cuando las presas u otros aprovechamientos retienen o extraen sedimentos, disminuye el aporte de arenas, limos y arcillas que provee la parte alta de la cuenca a la planicie costera.

El sedimento que llega a la costa desde fuentes como desembocaduras de ríos, bocas lagunares y esteros, se distribuye a lo largo de la costa acarreado por las corrientes generadas, principalmente, por el oleaje. En este caso, las intervenciones humanas construidas perpendiculares a la costa interrumpen el transporte longitudinal y retienen sedimento, lo cual afecta directamente la estabilidad de las playas (corriente abajo).

Para evitar daños irreversibles en las costas ocasionados desde tierra adentro o desde sitios contiguos, es fundamental realizar ejercicios de planeación y manejo de la zona costera. El principal insumo que requiere este manejo es un conocimiento

amplio y preciso de cómo se forman, evolucionan e interactúan los elementos físicos de las costas, temas que se detallan en los siguientes capítulos.

De acuerdo con Silva y Mendoza (2015), las fluctuaciones de materia y energía en los sistemas costeros son aceptables mientras se mantenga inalterado su equilibrio dinámico. Los sistemas resistentes estables muestran pequeñas respuestas a fuerzas externas; los sistemas flexibles pueden ser alterados fácilmente, pero también retornarán rápidamente a un estado de equilibrio (resiliencia). Esto puede verse como una retroalimentación negativa, ya que el sistema se está autorregulando como respuesta a las perturbaciones. Los sistemas inestables cambian a un estado de equilibrio nuevo después de la perturbación.

Esto se puede ver como una retroalimentación positiva que conduce a un desarrollo y a una ampliación. |



Playa erosionada por una estructura que interrumpe el transporte sedimentario. Fotografía: Erika Ramírez.

## I Capítulo 2.

### CELDA LITORAL

Las celdas y los compartimientos litorales se pueden distinguir tanto en la dirección longitudinal como transversal a la costa (Silva y Mendoza, 2015). En la dirección transversal a la costa, el sistema costero se ubica entre la orilla y la zona de inmersión y se puede subdividir en las siguientes zonas (celdas).

- Frente costero superior: zona de transformación (surf) con barras de rompientes entre la línea costera y un perfil que llega aproximadamente hasta los 8 m de profundidad y pendientes de fondo medias entre 1 a 50 m y 1 a 200 m.

- Frente costero medio: zona entre los 8 y 20 m de profundidad con pendientes de fondo medias entre 1 a 200 m y 1 a 1000 m; pueden presentar surcos de arena.

- Frente costero bajo: zona con profundidad mayor de 20 m y con pendiente media 1 a 1000 m y aún más baja; puede presentar surcos y bancos de arena.

En las zonas baja y media del frente costero, los índices de transporte son relativamente bajos y por tanto el tiempo de respuesta de la morfología a cambios energéticos es generalmente lento (comportamiento pasivo). En la zona de surf los índices de transporte son relativamente altos y el tiempo de respuesta de la morfología es más rápido, casi a la escala de los eventos (comportamiento activo).

En la dirección a lo largo de la costa se pueden distinguir las siguientes zonas (celdas):

- Micro celdas con cambios fluctuantes a pequeña escala debidos a variaciones estocásticas y determinísticas a lo largo de la costa de las cimas de las playas y de las barras de la zona de rompientes (0 a 1 km; 0 a 1 año).

- Meso celdas con cambios cíclicos a escala media, debidos al comportamiento cíclico de las características morfológicas tales como bancos de arena, ondas de arena y canales de retorno (1 a 10 km, 1 a 10 años). También,





Playa erosionada. Fotografía: Oscar Jiménez



Playa erosionada por una estructura que interrumpe el transporte sedimentario. Fotografía: Erika Ramírez.

puede ocurrir un ajuste a escala media de la línea costera a un nuevo equilibrio (1 a 10 km, 1 a 10 años).

- Grandes Celdas litorales separadas por ensenadas, promontorios y otras estructuras rígidas. Presentan cambios lentos de gran escala debidos a fenómenos naturales (mareas migrantes, bahías en espiral formadas bajo condiciones de oleaje distante oblicuo, persistente y celdas cordones mantenidas por la energía de olas y corrientes). También puede ocurrir un ajuste de gran escala a un nuevo equilibrio debido a estructuras artificiales (10 a 100 km, 10 a 100 años).

La mayoría de las celdas están abiertas a la entrada de energía, pero algunas están relativamente cerradas a intercambios de sedimentos a corto plazo. Toda celda, sin embargo, mantiene un pequeño o mediano intercambio de sedimentos con sus celdas vecinas, de la misma forma en que los sedimentos se transfieren gradualmente de sistemas terrestres a sistemas marinos. Uno de los análisis más relevantes que se llevan a cabo a nivel de celda litoral es la identificación de las fuentes y sumideros de sedimentos, ya que el balance entre las entradas y salidas de material (i. e. sedimento disponible) es la base de una correcta zonificación de la costa y por ende del Manejo Integral de Zonas Costeras.

La diferencia entre compartimento y celda litoral es un tanto subjetiva, no obstante puede decirse que el primero define zonas homogéneas de circulación de sedimento y la segunda está asociada a rasgos fisiográficos. Ambos conceptos son muy similares, por lo que puede ser complicado diferenciarlos, de hecho, en

ambos casos, su identificación varía en función de la jerarquía de escalas espaciales, temporales y del modo de transporte de sedimentos que interese al observador.

Las fronteras que delimitan una celda litoral pueden ser determinadas por alguno de los múltiples rasgos geomorfológicos que se identifican en la costa. Por ejemplo, puntas, cañones submarinos e inclusive las desembocaduras de los ríos.

Las fronteras de una celda pueden clasificarse en dos categorías: fijas y libres. Los rasgos topográficos como las puntas rocosas se consideran límites fijos. Mientras que las fronteras libres se reconocerán en aquellos sitios donde las divergencias de las playas puedan modificar su ubicación por el patrón de la refracción del oleaje.

Por su parte, las fronteras de un compartimiento, pueden corresponder con rasgos fisiográficos pero su identificación depende de patrones de circulación reconocibles. |



Celda litoral con límites fijos, dos promontorios rocosos, en Punta Partida, Veracruz. Fuente: Google Earth, Digital Globe y Terra Metrics, 2017.

## I Capítulo 3.

### EVOLUCIÓN DE LAS COSTAS

Por su génesis, los sedimentos de las playas se dividen en dos grandes grupos: terrígenos y marinos. Los sedimentos terrígenos son fragmentos minerales que se incorporan a los sistemas costeros desde el continente. Comúnmente son arrastrados por los ríos a lo largo de sus cauces y liberados a la zona litoral por sus desembocaduras. Otra fuente de sedimentos terrígenos es la erosión de los acantilados y terrazas costeras. También, los vientos sobre dunas sin cobertura vegetal son capaces de transportar longitudinal y transversalmente grandes volúmenes de sedimentos. La combinación de todas estas fuentes de sedimento forma las playas y dunas costeras. En el Golfo de México, los sedimentos terrígenos se caracterizan por ser de color oscuro, masivos y de alta densidad.

Según su origen, los sedimentos marinos se clasifican en litogénicos, biogé-

nicos y químicos. Los litogénicos provienen de cenizas volcánicas y del intemperismo de las rocas. Los sedimentos biogénicos están formados por restos de organismos que pueden ser macroscópicos o microscópicos. Los pastos marinos y los arrecifes coralinos son los principales ecosistemas que los generan, aunque también deben considerarse los restos de organismos microscópicos, como foraminíferos y ostrácodos. Al morir, estos organismos son arrastrados por el oleaje y las corrientes marinas de manera que sus restos se fraccionan sucesivamente hasta que alcanzan la costa donde se depositan y dan lugar a las playas. Los sedimentos biogénicos son de color claro, por la presencia predominante de carbonato de calcio en su composición. Estos sedimentos se caracterizan por tener una superficie rugosa, un interior poroso y baja densidad. La mayor parte, son granos con forma de discos.

Los sedimentos marinos de origen químico tienen como principal exponente las oolitas y están compuestos por estructuras concéntricas de carbonato de calcio, que se formaron bajo determinadas condiciones de salinidad y temperatura de las aguas marinas (Neshyba, 1987).

La dinámica sedimentaria que ocurre de manera natural en las costas da como



Playa erosionada. Foto: Erika Ramírez

resultado cambios continuos por erosión y sedimentación, lo que aunado a la topografía local genera una gran variedad de formas litorales y paisajes costeros. La erosión y la sedimentación cambian la forma de las costas, y de esta manera se genera una gran variedad de formaciones litorales y paisajes. El proceso de erosión debido a los agentes marinos se inicia con las olas rompiendo sobre las rocas y haciendo retroceder los relieves terrestres que se encuentran a su paso. Este es el proceso por el que el mar se abre camino hacia tierra dando lugar a las formaciones derivadas de la erosión. A su vez, fragmentos de rocas son liberados y trabajados por el oleaje modificando su forma y tamaño. El material producto de la erosión queda a merced de las variaciones del oleaje y las corrientes y es transportado al fondo del mar o arrastrado y depositado a lo largo de la costa donde eventualmente se originarán las llamadas formaciones derivadas de la acumulación (Holmes y Holmes, 1973).

## **I FORMACIONES DERIVADAS DE LA EROSIÓN COSTERA**

Las formas costeras se pueden clasificar de diferentes maneras, una de ellas es en función del contorno costero y el mecanismo (acumulación o erosión) de la costa. El contorno de la costa, en cuanto a formas relativas a la erosión, se clasifica en: acantilados marinos (riscos), puntas rocosas (salientes, promontorios), ensenadas, arcos marinos (foradadas), cuevas marinas (cavernas, bóvedas), chimeneas marinas (bufaderas), columnas marinas (pilastras, hitos, islas de roca), plataformas

de abrasión (plataforma construida por las olas), bahías y terrazas marinas (plataforma cortada por olas) (Thornbury, 1969; Holmes y Holmes, 1973; Trefethen, 1979; Moore, 1982; Wicander y Monroe, 1999). Algunas de estas formaciones se ilustran en la Figura 2.

Los acantilados son muros verticales de roca que se erosionaron por la acción, principalmente, del oleaje, la abrasión hidráulica y la corrosión que induce el medio marino. La forma del acantilado depende de las cualidades de las rocas que lo componen; es decir, cuando son más resistentes, los contornos que se gestan se conocen como salientes y cuando la roca es de menor dureza resultan las formaciones de ensenada y bahía.

La refracción de las olas es la causa principal de la formación de las cuevas marinas las cuales ocurren cuando una saliente es erosionada por ambos lados en su parte inferior. Si se unen las cuevas en lados opuestos de una saliente, se forma un arco marino.

Las chimeneas marinas se forman por el derrumbe de una cueva marina, debido a la acción de las olas y del aire que se comprime en el interior de la cueva. Cuando el arco o la caverna marina caen, la porción de la saliente que está en el lado del mar queda aislada a modo de columna marina.

La plataforma de abrasión se origina a partir de fragmentos de un acantilado que fueron depositados en la parte frontal del mismo. La parte superior de la plataforma es visible cuando el fondo rocoso queda seco con la bajamar y puede existir un relleno de arena en las depresiones de la plataforma, estas formas costeras son

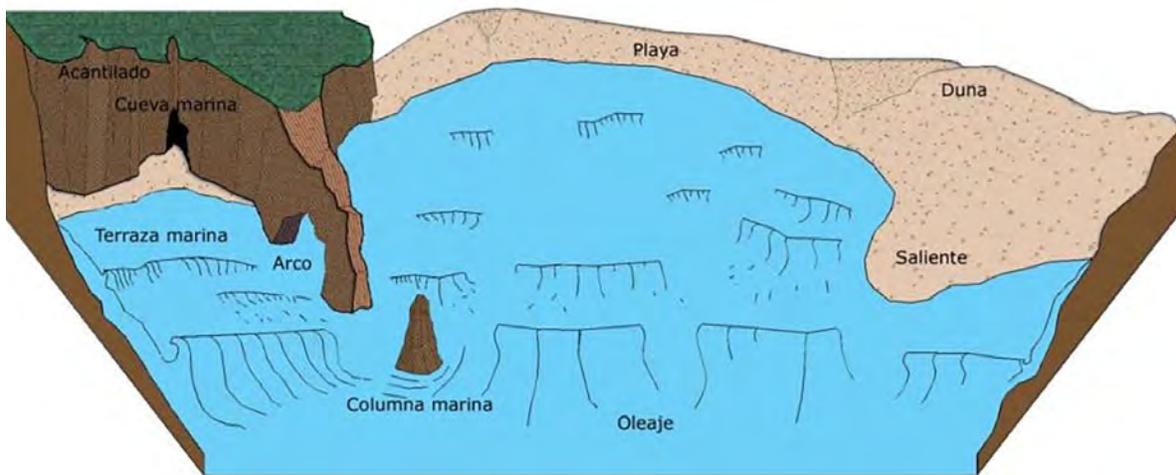


Figura 2. Formaciones costeras asociadas a la erosión costera (tomado de Silva y Mendoza, 2015).

una extensión de las terrazas marinas. Las terrazas marinas son antiguas plataformas cortadas por las olas y resultan de la degradación que sufre un acantilado.

## I FORMACIONES DERIVADAS DE LA ACUMULACIÓN COSTERA

Las formas costeras relacionadas con la acumulación son las playas, flechas, barreras, tómbolos, barras y bajos (Thornbury, 1969; Longwell y Flint, 1971; Holmes y Holmes, 1973; Trefethen, 1979; Wicander y Monroe, 1999; Dean y Dalrymple, 2002). Algunas de estas formaciones se ilustran en la Figura 3.

Una playa es una zona de depósito o acumulación de sedimento no consolidado, que se extiende hacia la tierra desde la línea de marea baja hasta un cambio topográfico como un acantilado, una línea de dunas o un punto donde existe una vegetación permanente. Dabrio (1992) define a las playas como acumulaciones de arena que se extienden a lo largo de los océanos,

mares, frentes deltaicos y de las islas, y están caracterizadas por una desproporcionada relación entre su pequeña anchura y su gran longitud.

Debido a que las playas son formadas con materiales resultantes del intemperismo, se considera que éstas son el mejor elemento que existe para disipar la energía del oleaje. Existen playas que son rectas o tienen una tendencia longitudinal y playas que se presentan bordeando zonas internas, teniendo una curvatura cóncava generalmente hacia el mar, siguiendo la forma de la bahía.

El estudio bidimensional en planta de las diferentes formas que existen en las costas se fundamenta en el concepto de equilibrio estático de las bahías o playas. Cuando una playa alcanza el equilibrio estático tenderá a describir, en su forma, una curvatura y su perfil se irá ajustando en la medida que el oleaje afecta la zona litoral (Tanner, 1958). Una bahía o una playa en equilibrio estático pueden convertirse en líneas de costa suaves y confinadas por dos elementos naturales o artificiales



Figura 3. Formaciones costeras asociadas a la acumulación costera (tomado de Silva y Mendoza, 2015).

(por ejemplo, rompeolas, espigones, escolleras o puntas rocosas). Una línea de costa que tiene alguna alteración cambia su forma hasta que alcanza un nuevo estado de equilibrio, lo que significa que a veces la costa cambia su orientación hasta que es paralela a las crestas del oleaje. En una bahía o playa, donde los procesos de difracción y refracción tienen un papel importante, el oleaje forma una espiral o una curva como patrón en su forma bidimensional en planta.

Las playas, entonces, pueden clasificarse según su estado de equilibrio como playas en equilibrio estático, dinámico y metaestable o hiperestático. Las playas que presentan un equilibrio estático son aquellas donde no existe un aporte o pérdida de sedimento que modifique la forma de la playa a lo largo del tiempo. El equi-

líbrio metaestable o hiperestático, es aquél en el cual una playa cambia de un estado de equilibrio a otro, en períodos de tiempo cortos, en los cuales la forma de la playa no alcanza una estabilidad definitiva.

Cuando se tienen pendientes suaves se favorece el depósito de la playa en el lado de tierra, de manera que cada parte de la pendiente se va adaptando de acuerdo con el aporte de sedimentos para permitir que el sedimento en exceso sea eliminado. Cuando el perfil sigue este patrón de funcionamiento, se tiene un perfil en equilibrio o que tiende a él. Frecuentemente en los perfiles erosivos se pueden presentar dos rasgos muy bien definidos: escarpes entre la berma y duna, pendientes de playa más abruptas y sedimentos más gruesos en la zona de lavado que en la zona de rompientes del oleaje.

En función del perfil transversal, las playas pueden clasificarse como playas acumulativas o erosivas. Las primeras tienen una pendiente que se considera más o menos continua o con pequeños cambios y se presenta en períodos de tiempo donde el oleaje tiene poca altura. Su característica principal es una acumulación de sedimento en la parte emergida. Las playas erosivas, por su parte, se desarrollan a partir de oleajes de gran altura; este tipo de playas se forma en un período de tiempo muy corto debido a la gran energía del oleaje y tienen como característica principal la formación de una barra sumergida.

Un perfil de playa tiene diferentes zonas, las cuales se identifican en la Figura 4.

Una flecha de arena es la continuación de una playa o punta en forma de saliente que se proyecta en un cuerpo de agua. La dirección en la cual evoluciona la flecha

obedece a la dirección del transporte litoral. Otros agentes físicos como mareas, vientos y vegetación, así como las fuentes de abastecimiento de sedimentos que descargan en la periferia de las flechas, pueden hacer que éstas aumenten su altura y se ensanchen o simplemente se estabilicen. Si las flechas son muy largas se pueden romper durante tormentas severas para posteriormente, volverse a cerrar cuando se presenten las condiciones que estabilizan la flecha. El extremo libre de las flechas puede llegar a curvarse debido a la refracción del oleaje; cuando esto sucede, las flechas reciben el nombre de flechas curvadas o ganchos. Las flechas pueden crecer en gran variedad de formas, dependiendo del oleaje local.

Una isla de barrera es la prolongación de una flecha; la peculiaridad de este contorno es que no siempre se encuentra conectado a tierra firme y suelen ubicar-

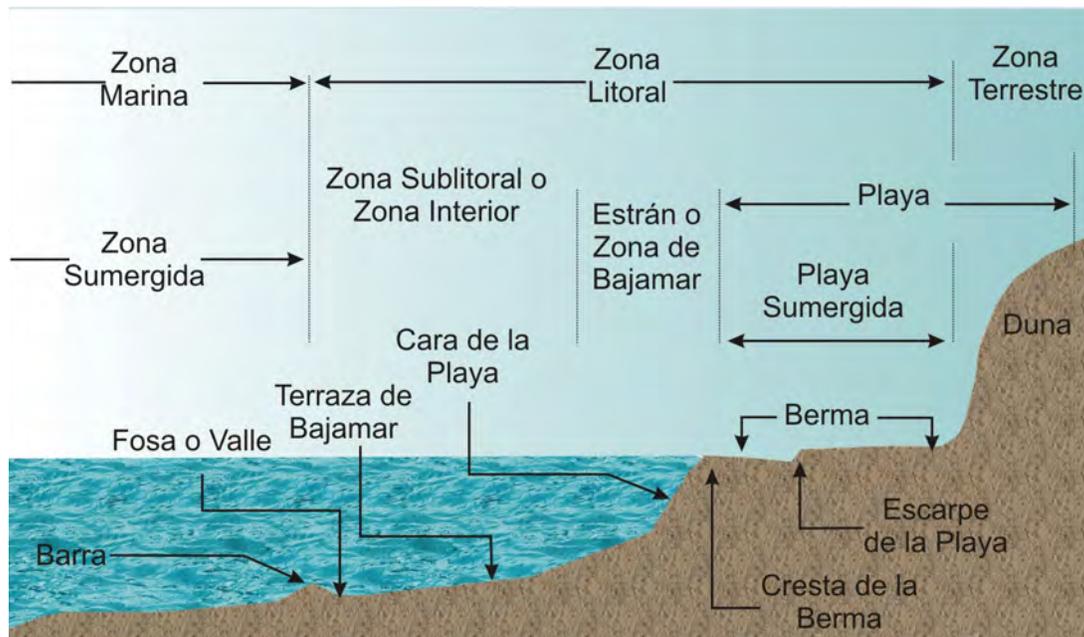


Figura 4. Descripción por zonas de un perfil de playa (tomado de Silva y Mendoza, 2015).

se frente a lagunas costeras. Su extensión delimita las bocas de comunicación de la laguna con el mar. Un cordón litoral o de islas barrera es un conjunto de flechas o barreras que se extienden sobre una franja de agua.

Los tómbolos son como flechas que crecen hacia el mar y se conectan con una isla u obstáculo emergido. Se originan por la combinación de los fenómenos de refracción y difracción del oleaje, generados por el mismo obstáculo, que hacen que los frentes de oleaje modifiquen su dirección de propagación y, como resultado, se deposite una barra de arena que crecerá en la dirección perpendicular a la costa. En algunos casos, cuando las islas u obstáculos son mucho más largos que la distancia que los separa de la costa, podrían llegar a formarse semi-tómbolos o tómbolos dobles.

Las barras son islas largas y angostas, generalmente conformadas por arena, que

se extienden en una dirección casi paralela a la costa. Se piensa que se forman sobre plataformas de pendiente suave, donde son menores los cambios de las mareas y las fluctuaciones de los niveles de energía del oleaje. Al ascender el nivel del mar, las barras emigran a tierra por a) las grandes olas de tormenta que erosionan la arena de la barra del lado del mar y la depositan en el lado opuesto, generándose lo que se denomina sobrelavado y b) por el transporte eólico de arena que es generado por los vientos de la costa. Las barras se consideran formas costeras disipadoras de la energía del oleaje (Dean y Dalrymple, 2002).

Los bajos son acumulaciones de material que se ubican en la zona exterior de la playa y generalmente se encuentran sumergidos o pueden descubrirse ocasionalmente en condiciones de marea baja.

Los aportes sedimentarios provenientes de los ríos que llegan al mar pueden



Tómbolo en La Mancha, Veracruz. Fotografía: Gerardo Sánchez Vígil

ser llevados directamente a aguas profundas, viajar a lo largo de la costa o bien pueden acumularse en la boca del río en forma de un delta. El primer requerimiento para la formación de un delta es un aporte de sedimentos en exceso del que es removido y redistribuido por el oleaje y las corrientes. Los lugares caracterizados por grandes oleajes o fuertes corrientes mareales requerirán mayor cantidad de sedimentos que lugares con olas y mareas menores. Otra variable importante es la fisiografía de la margen continental adyacente a la costa, por tanto, la tectónica y el marco geológico son muy importantes en el desarrollo de los deltas.

En términos geológicos los deltas actuales son relativamente jóvenes. Comúnmente un delta es un canal principal que se divide en varios distributarios que trasladan la descarga de agua y sedimento. De esta manera el delta incluye varios ambientes como: sub-aéreo, inter-mareal y sub-acuo-

so, en diferentes condiciones como agua dulce, salobre y marina. El delta puede dividirse en tres partes principales (Figura 5):

- Plano deltaico. Influido principalmente por el río y sus procesos. Está conformado por canales y sus depósitos. Están presentes todos los elementos de un río con meandros, barras puntuales formadas por la migración de canales, señales de canales abandonados, diques naturales, rompimiento de diques, planicies de inundación, entre otros.

- Frente deltaico. Porción submareal afectada por procesos costeros, especialmente olas. El sedimento llega por los canales distributarios como carga de fondo y en suspensión. La carga de fondo, de material más grueso, tiende a depositarse cerca de la boca del delta. Se forman comúnmente barras de boca de distributarios que hacen que el canal se bifurque. Las

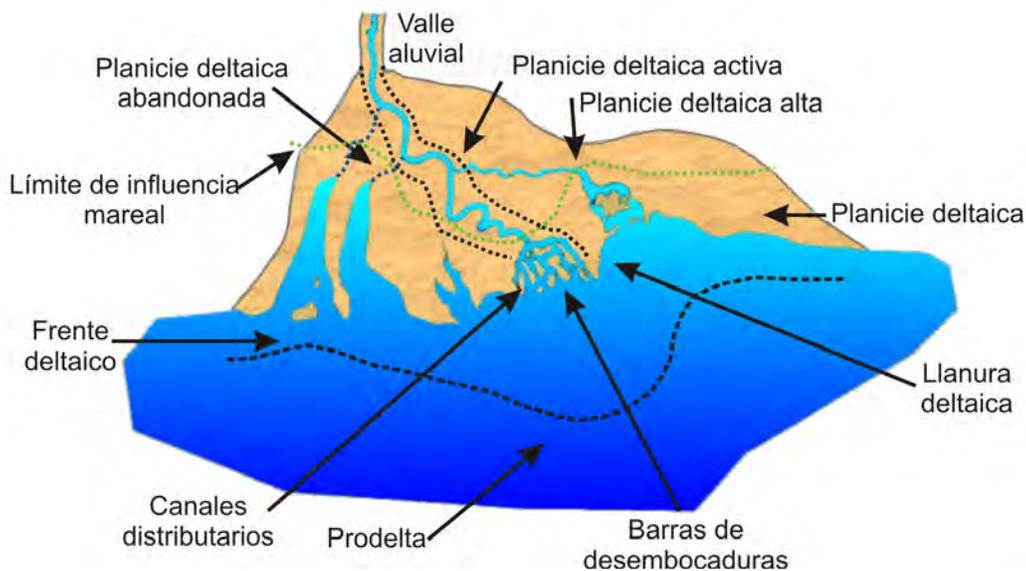


Figura 5. Principales componentes morfológicos y sedimentarios de un delta (tomado de Silva y Mendoza, 2015).

corrientes costeras llevan arena fuera de la boca y la distribuyen a lo largo de la zona exterior del delta, formando un sistema de frente deltaico prácticamente continuo.

- Prodelta. Es la porción sumergida y puede extenderse en toda la plataforma superior. Las formas deltaicas incluyen entonces rasgos como canales distributarios, barras de boca de canal, bahías interdistributarias, plataformas mareales, dorsales mareales, playas, dunas y campos de dunas, pantanos y marismas.

A partir de los procesos que dominan los deltas se ha establecido una clasificación en a) deltas dominados por procesos fluviales, b) deltas dominados por mareas, c) deltas dominados por olas y d) deltas mixtos (Figura 6).

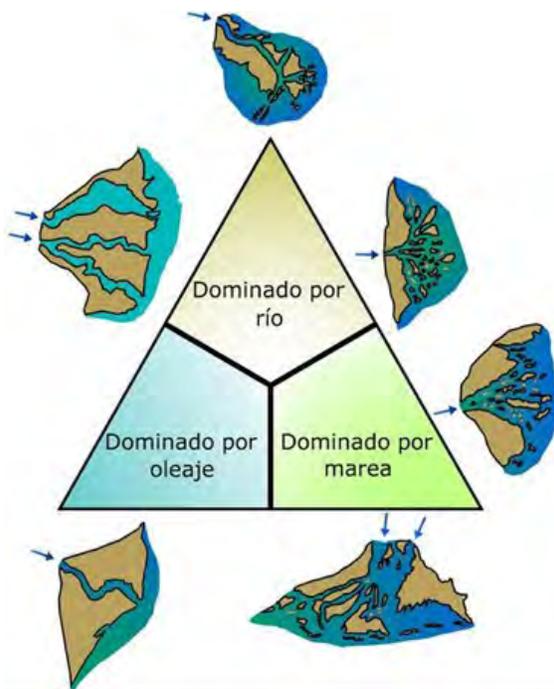


Figura 6. Clasificación de los deltas (tomado de Silva y Mendoza, 2015).

## I Capítulo 4.

### DUNAS COSTERAS

Las dunas costeras son acumulaciones de la arena que es transportada por el viento. La fuente de arena para que se construyan estas geoformas es la depositada en las playas gracias a las corrientes de agua del océano (marea y oleaje), o de lagos y ríos en dunas interiores. Cuando la arena de la playa queda expuesta al aire durante tiempo suficiente, se seca y entonces es susceptible de ser movida por el viento. Así da inicio la formación de las dunas costeras. Se sabe que los factores críticos para la formación de dunas son: 1) el aporte de sedimentos, 2) el tamaño de los sedimentos, 3) la velocidad del viento y 4) la presencia de obstáculos. Una vez que existe el aporte de sedimentos, la formación de una duna empieza cuando la velocidad del viento es tal que puede levantar los granos de arena. Se ha calculado que la veloci-

dad mínima para que haya movimiento de arena es de 4.5 m/s.

Dentro de los diferentes tipos de obstáculos que disminuyen la velocidad del viento y provocan que la arena sea depositada, las plantas son las más efectivas, ya que son capaces de crecer conforme la arena se va acumulando (Figura 7). Hay muchas especies que tienen esta capacidad, y forman ramas, tallos y rizomas para mantenerse sobre la superficie de la arena, evitando así ser cubiertas por ésta (Figura 7). En México, los ejemplos más conocidos de estas plantas son hierbas y arbustos de especies como *Ipomoea pes-caprae* (riñonina); *Canavalia rosea* (frijol de playa); *Croton punctatus* (croton); *Palafoxia lindenbergii* (clave-lillo de arena); *Chamaecrista chamaecristoides* (lenteja de playa) y *Uniola paniculata* (avena de mar) en las costas mexicanas del Golfo de México (Moreno-Casasola, 1986) y *Abronia maritima*, *Scaevola plumieri* y *Uniola pittieri* en el Pacífico (Espejel *et al.*, 2013).

Se ha demostrado que las especies de plantas de dunas antes mencionadas son muy tolerantes al encubrimiento con arena (Martínez y Moreno-Casasola, 1996).

El ciclo de erosión-restauración de las dunas es totalmente natural e inherente a estos sistemas, y mantiene a las dunas



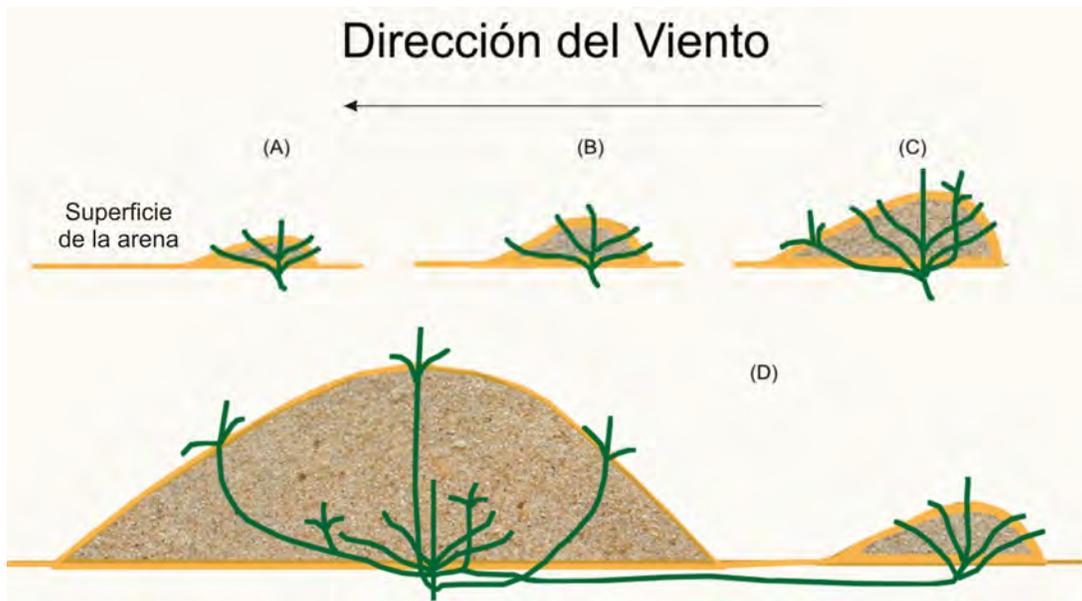


Figura 7. Desarrollo de una duna alrededor de una planta. La arena se acumula alrededor de las ramas, cubriéndolas por completo. En respuesta, la planta crece y funciona como un obstáculo de mayor tamaño que retiene más arena (modificado de: Packham y Willis, 1997).



*Ipomoea pes-caprae* (riñonina) Fotografía: Marisa Martínez

como una barrera dinámica y eficiente que protege contra la intrusión del agua de mar durante las tormentas (Figura 8). Cuando se pierden estas dunas por eventos naturales o por las actividades humanas, los efectos tierra adentro del viento y los oleajes fuertes se hacen más marcados.

Conforme las dunas costeras se forman y migran tierra adentro o a lo

largo de la costa, adquieren diferentes formas que son el resultado de procesos de acumulación de arena, así como de su interacción con las plantas. Las dunas se han clasificado en función de diversos criterios: su posición y procesos en relación con la distancia al mar, sus características topográficas y su dinámica y cubierta vegetal.

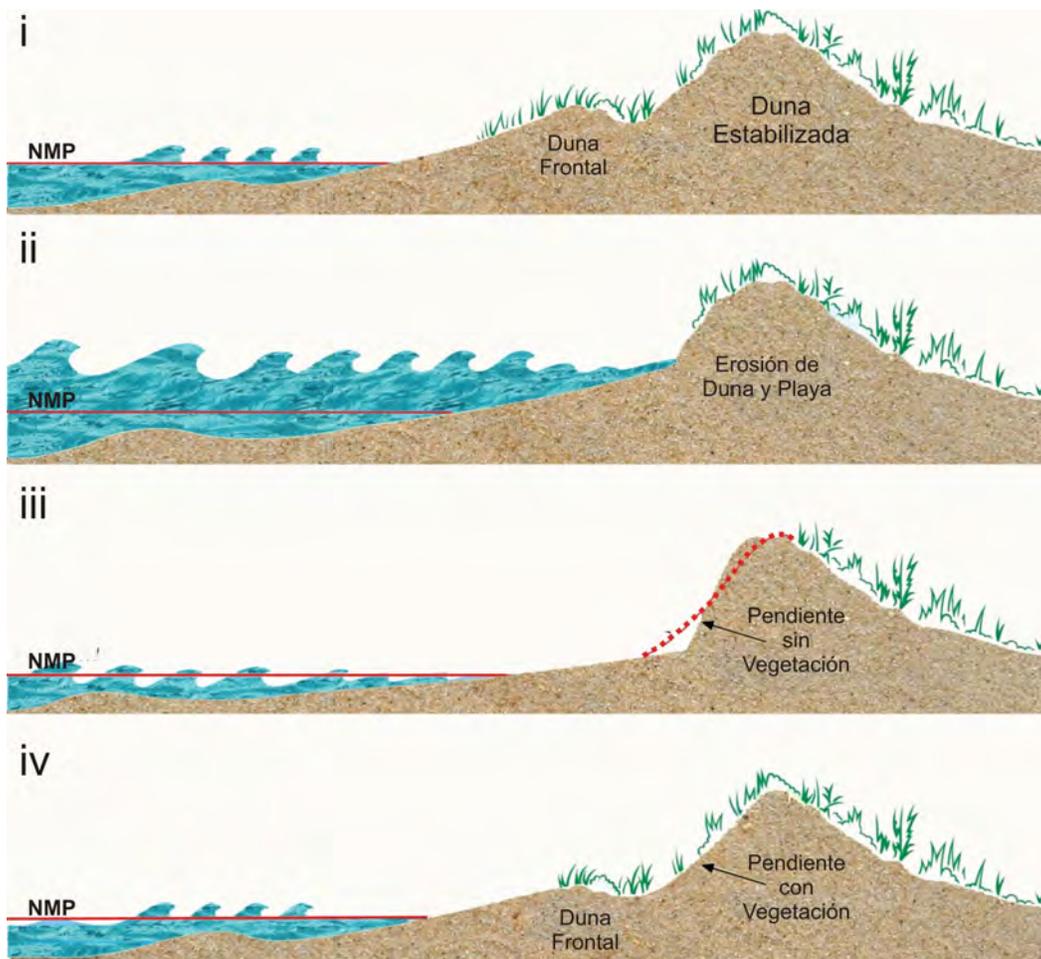


Figura 8. Dinámica de la playa y las dunas frontales. En tiempos de clima tranquilo (i) las olas son moderadas. Rompen en la playa, depositan arena y se forman las dunas frontales. Durante las tormentas (ii) se erosionan las playas y las dunas frontales. Cuando regresa el buen tiempo (iii) las olas nuevamente depositan sedimentos en la playa. Cuando regresa el buen tiempo (iii) las olas nuevamente depositan sedimentos en la playa. Con el tiempo, la vegetación vuelve a cubrir la duna y se forma otra duna frontal (NMP = Nivel del mar Máximo Promedio) (Modificado de: Hesp, 2000).

## I CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON SU POSICIÓN

La clasificación en función de su posición y procesos relacionados con la distancia al mar (Figura 9) define los siguientes tipos:

- Primarias: Primer cordón de dunas, donde la influencia marina es mayor.
- Secundarias: Segundo cordón de dunas, donde los procesos están determinados por la fuerza del viento (influencia eólica). La cubierta vegetal es de escasa a moderada.
- Terciarias: Son las dunas más alejadas del litoral, con una mayor cubierta vegetal. Aquí los procesos terrestres son los predominantes.

## I CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON SUS CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS

- Embrionarias: Las dunas embrionarias son dunas cuya formación está dando inicio, y tienen forma de un pequeño montículo (Figura 10). Se encuentran dispersas en la zona entre la línea de marea más alta y la base del primer cordón de dunas.

Las dunas frontales contienen una cubierta vegetal escasa que se caracteriza por la presencia de especies pioneras. Las especies pioneras son plantas tolerantes a la salinidad, estrés hídrico y enterramiento.

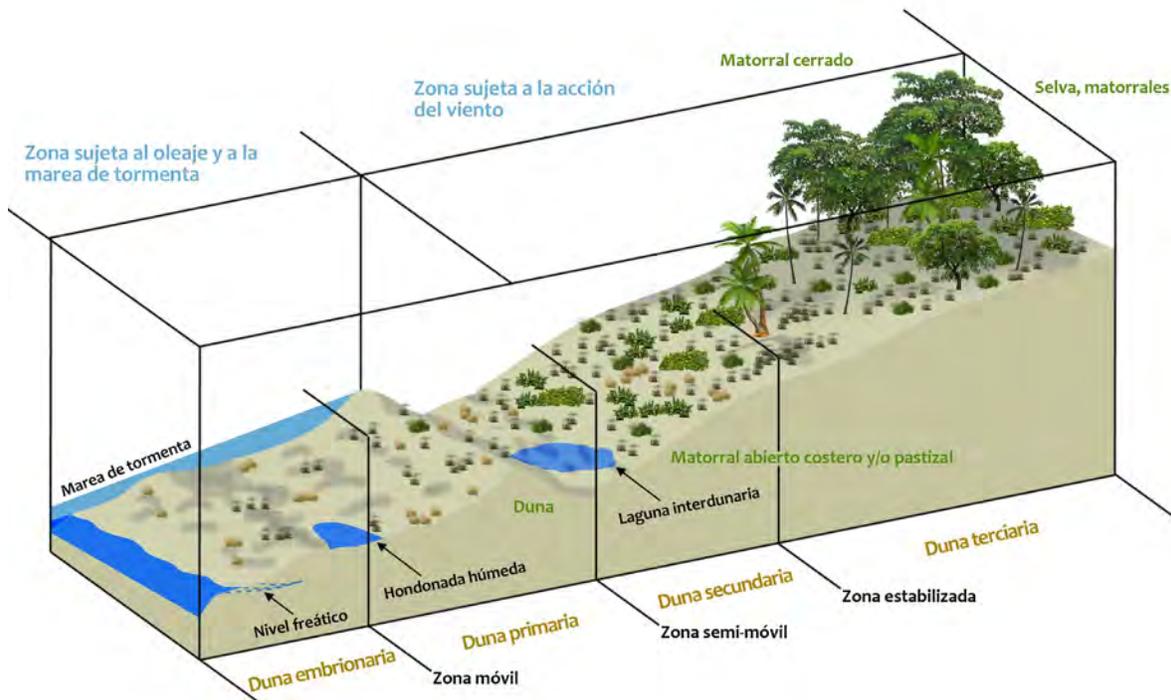


Figura 9. Dunas primarias, secundarias y terciarias (modificado de: Silva *et al.* 2013). Las dunas primarias tienen mayor influencia marina; las dunas secundarias están dominadas por el viento; las dunas terciarias pueden tener vegetación de matorral y hasta selvas porque, al estar más lejos de la costa, tienen menos influencia eólica y marina.



Figura 10. Dunas embrionarias en La Mancha, Veracruz. Fotografía: Marisa Martínez

- Frontales: Las dunas frontales se forman mediante la unión de dunas embrionarias y gracias a la rápida intervención de las plantas en la disminución de la velocidad del viento. Las dunas frontales son cordones de dunas paralelos a la línea de costa, y tienen una longitud variable (Figura 11). Pueden medir solo unos cuantos metros de longitud o alcanzar varios kilómetros a lo largo del litoral costero. En algunas costas hay múltiples cordones de dunas, usualmente con una orientación paralela a la línea de costa, las cuales se han formado sucesivamente como dunas frontales detrás de una playa arenosa progradante (o que le gana terreno al mar por la acumulación de sedimentos). Cuando esto ocurre se forma un canal interdunario entre cada cordón de dunas (Figura 12).

- Hondonadas: Las hondonadas son el resultado de procesos erosivos, y se encuentran en las partes más bajas de los sistemas de dunas. Pueden tener una gran variedad de formas, pero la mayoría se clasifican como hondonadas en forma de plato (formando un semi-círculo) o bien hondonadas alargadas (Figura 13) (Hesp, 2000) (también llamados corredores de viento). Pueden llegar a formar lagos inundados permanentemente.

- Parabólicas: Las dunas parabólicas son dunas en forma de "U" invertida y, como su nombre lo indica, asemejan una parábola (Figura 14). Esta forma se hace más evidente sobre todo cuando son observadas desde arriba (Figura 15). Las dunas parabólicas se caracterizan por tener dos brazos y una cima, que es



Figura 11. Duna frontal. Fotografía: Marisa Martínez



Figura 12. Planicie de dunas frontales ubicada al norte de Veracruz. (Google, Digital Globe).



Figura 13. Hondonada alargada, en forma de "corredor". En el fondo se acumulan semillas y hojarasca. Fotografía: J.G. García-Franco.

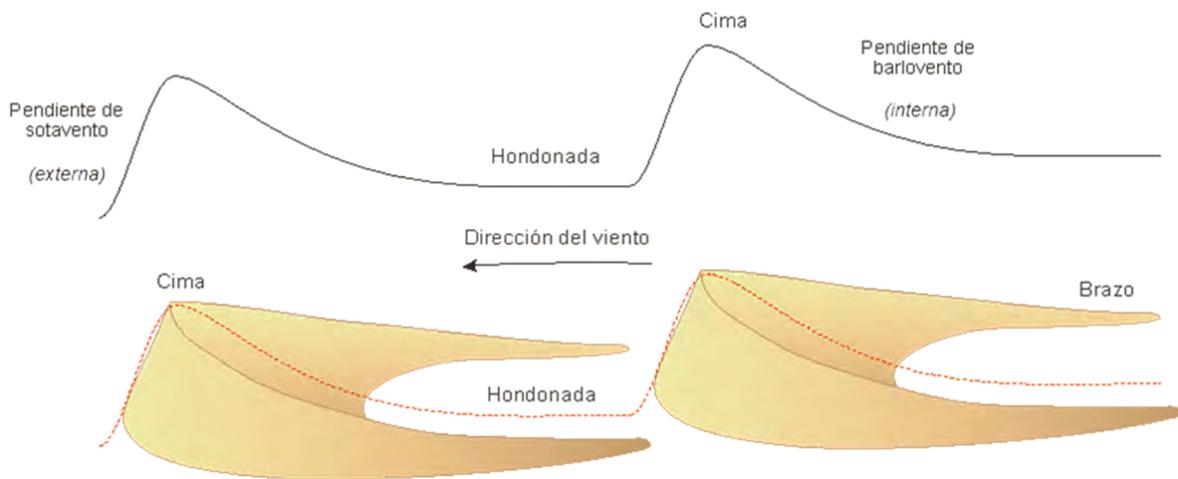


Figura 14. Esquema que muestra las diferentes partes de una duna parabólica. (Modificado de Moreno-Casasola, 1982; esquema elaborado por R. Landgrave).

la parte más alta y donde se unen los brazos (Figura 15). La cima está orientada hacia la dirección donde viajan los vientos dominantes.

- Barjanes: Los barjanes tienen forma de media luna y se parecen a las dunas parabólicas. Sin embargo, existe una diferencia muy importante entre ambos tipos de dunas, ya que en los barjanes los brazos apuntan hacia donde avanzan los vientos predominantes, lo que es contrario a lo que ocurre en las dunas parabólicas. Es decir, en los barjanes los brazos avanzan más rápido que la cima. Además, contrario a lo que ocurre en las dunas parabólicas, la pendiente pronunciada de sotavento se encuentra entre los brazos (Figura 16).

- Transgresivas: Cuando se habla de campos de dunas transgresivas, se está haciendo referencia a conjuntos de dunas que están avanzando (o que han avanzado) tierra adentro o a lo largo de la costa y que tienen una cubierta de vegetación muy escasa o nula (Figura 17). Es decir, que están transgrediendo. Avanzan sobre todo tipo de terrenos, desde aquellos totalmente cubiertos por vegetación hasta aquellos parcialmente desnudos y aún sobre carreteras y construcciones. También pueden avanzar sobre zonas con pendientes muy pronunciadas. Debido a su gran movilidad cuando no están cubiertas de vegetación, estas dunas también se conocen como dunas migratorias.



Figura 15. Campo de dunas parabólicas con diferentes grados de estabilización: A) y B) Móviles y semimóviles; C) Estabilizadas; y D) Laguna interdunaria permanente. (Google, Digital Globe).

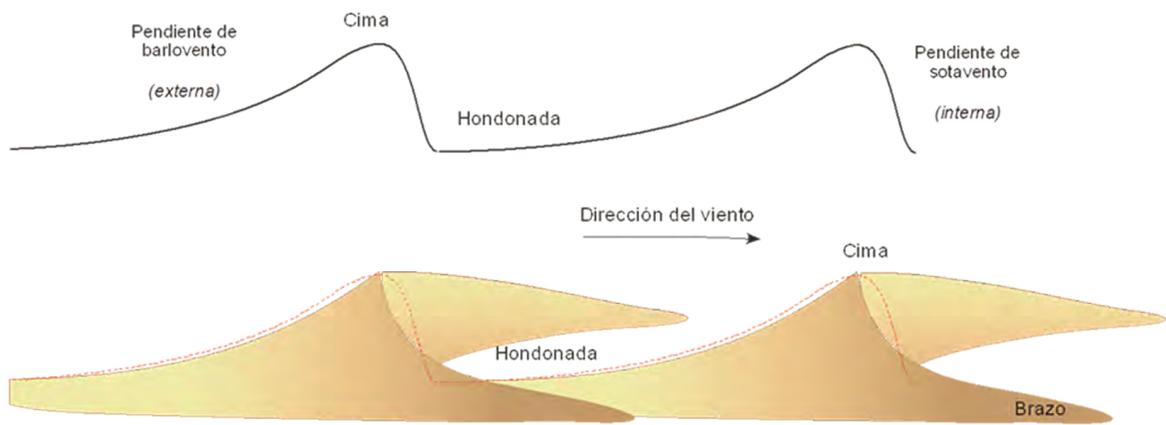


Figura 16. Esquema mostrando las diferentes partes de una duna en forma de un barján. (modificado de: Moreno-Casasola, 1982).



Figura 17. Campo de dunas transgresivas en el centro de Veracruz. Fotografía: Roberto Monroy.

## I CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON LA CUBIERTA VEGETAL

Otra clasificación de las dunas está en función de la cubierta vegetal y la movilidad de la arena.

- Móviles: Sin cubierta vegetal o muy poca vegetación. La arena tiene una gran movilidad.
- Semimóviles: Cubierta vegetal moderada, por lo que el movimiento de la arena es mucho menor.
- Estabilizadas o fijas: Casi totalmente cubiertas por vegetación, con un movimiento de arena prácticamente nulo.

Esta clasificación es independiente de la forma de las dunas. Es decir, puede haber, por ejemplo, dunas transgresivas móviles, semimóviles o estabilizadas.

A menudo, los sistemas de dunas están conformados por un mosaico complejo de dunas de diferente forma y con cubierta vegetal variable (Figuras 15, 17), ubicándose en áreas relativamente pequeñas, con lo que la heterogeneidad ambiental y la diversidad biológica se incrementan. |



Dunas semimóviles y estabilizadas en Veracruz. Fotografía: Marisa Martínez

## I Capítulo 5.

### GENERALIDADES DE LOS CUERPOS DE AGUA COSTEROS

De acuerdo con Perillo (1995) y Silva y Mendoza (2015), en general, un cuerpo costero es una formación semicerrada que se extiende hasta el límite efectivo de la influencia de las mareas. El agua de mar que entra por sus conexiones con el mar abierto es significativamente diluida con agua dulce procedente de tierra y puede sostener especies biológicas eurihalinas.

Los cuerpos de agua costeros se clasifican en función de sus características fisiográficas. Estos sistemas de clasificación están basados principalmente en la determinación de uno o más parámetros biofísicos que gobiernan al sistema, incluyendo factores como clima, hidrología, calidad del agua, morfología, tipos de hábitat y tamaño. En términos prácticos, suponiendo condiciones tectónicas y nivel

del mar estables, la geomorfología de los cuerpos costeros se determina particularmente por la influencia relativa del oleaje, la marea y los flujos de los ríos para cada cuerpo costero que contiene un conjunto distintivo de ambientes geomorfológicos y sedimentarios propios.

Ryan *et al.* (2003) proponen una clasificación de los cuerpos costeros en función de parámetros fisiográficos y la importancia relativa del oleaje, la marea y los ríos compuesta por siete tipologías: ensenadas, estuarios dominados por el oleaje, deltas dominados por el oleaje, lagunas costeras, estuarios dominados por la marea, deltas dominados por la marea, cala mareal. En México, los tipos de cuerpos costeros más importantes son los siguientes.

### I LAGUNAS COSTERAS

Las lagunas costeras son depresiones someras separadas del mar por una barrera de arena. Su dinámica hidrológica depende de la conexión con el mar, que puede ser permanente o efímera, y de la entrada continental de agua dulce superficial y subsuperficial (Lankford, 1977). En comparación con las lagunas costeras, los estuarios son cuerpos de agua semicerra-



dos muy cercanos a la desembocadura de los ríos. Tanto las lagunas costeras como los estuarios son considerados sistemas estuarinos por la mezcla de agua marina con agua dulce. Dicha mezcla induce gradientes verticales y horizontales de salinidad en el espacio y el tiempo, pues los caudales de los ríos aumentan durante la época de lluvias y en eventos de tormentas tropicales. En las lagunas costeras, la apertura y cierre de la boca de conexión determina el hidropериodo (nivel de inundación, frecuencia, extensión en el cuerpo lagunar), los reguladores (salinidad, pH, oxígeno, temperatura, transparencia) y los recursos (nutrientes, luz) (Twilley y Rivera-Monroy, 2005). El gradiente ambiental genera condiciones que pueden conducir a ensamblajes de especies más o menos diversos, siendo la salinidad el regulador más utilizado como indicador del tipo de laguna (oligohalinas, mesohalinas y eurihalinas).

Dentro de este grupo de cuerpos de agua costeros, se incluyen las lagunas

costeras y albuferas. En ambos casos, su formación se debe al cierre de una bahía mediante la formación de una barrera que las separa del mar, por ejemplo, barras y flechas litorales. También, se pueden considerar a las pequeñas lagunas costeras formadas en las desembocaduras de los ríos temporales, que reciben aguas fluviales durante los períodos lluviosos y están influenciados por las aguas marinas, ya sea por el oleaje o por filtraciones a través de la barra arenosa durante los períodos de estiaje (Soria y Sahuquillo, 2009). Las lagunas de Tamiahua, de Tampamachoco y de La Mancha en Veracruz y La Laguna Superior e Inferior en Oaxaca son ejemplos de lagunas costeras (Figura 18).

## I ALBUFERAS

Es un cuerpo de agua léntico con salinidad variable, pueden ser desde oligohalinos hasta polihalinos. Los organismos que habi-



Figura 18. Izquierda: Laguna de Tampamachoco, Veracruz (Google, Digital Globe-2017, Terra Metrics-2017, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO); Derecha: Laguna Superior e Inferior, Oaxaca (Google, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO, Image Landsat/Copernicus, Data LDEO-Columbia, NSF, NOAA).

tan estos ecosistemas son total o parcialmente de origen marino. Estos cuerpos de agua están separados del mar por una lengua o por un cordón de arena. En todos los casos, están en comunicación con el mar por uno o más puntos. La formación de las albuferas suele deberse a la colmatación de una antigua bahía por los aportes de sedimentos marinos o fluviales. En los casos donde las mareas no son muy importantes y la arena se deposita en una larga lengua próxima a la costa, se forman estos cuerpos de agua, separadas del mar por una estrecha barra de arena o tierra paralela a la orilla. Debido al lento flujo e intercambio de aguas con el mar, sus temperaturas son mucho más cálidas. Cabe señalar que estos cuerpos de agua se encuentran en la planicie costera (Figura 19).

## I ESTUARIOS

Un estuario se forma en la parte más ancha de la desembocadura de un río caudaloso en el mar, caracterizada por tener la forma de un embudo cuyos lados van apartándose en el sentido de la corriente y por la influencia de las mareas en la unión de las aguas fluviales con las marítimas (por ejemplo el estuario del Río Champotón, Figura 20).

Al igual que en las lagunas costeras, hay una clara relación entre la biodiversidad de los sistemas estuarinos y la cobertura de pastos marinos, manglares y otros humedales. Los pastos marinos consolidan el sustrato disponible para la fijación de especies bentónicas; reducen el movimiento del agua en el interior de



Figura 19. Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur (Google, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO, Image Landsat/Copernicus).

las praderas, favoreciendo condiciones de estabilidad; al realizar la fotosíntesis incrementan las concentraciones de oxígeno disuelto. Son sitios de crianza, refugio y alimentación de muchas especies juveniles de peces e invertebrados. Sin embargo, el cambio de uso de suelo y la deforestación en las partes altas de las cuencas provoca que haya un aporte importante de sedimentos a los ríos que llegan a las lagunas en las partes bajas, incrementando la turbidez y disminuyendo la cantidad de luz incidente, lo que afecta la capacidad fotosintética y productividad de los pastos marinos. Los pastos marinos son utilizados como indicadores biológicos, ya que tienen altos requerimientos de luz y son muy sensibles al grado de eutrofización de los sistemas, la destrucción física por el uso de artes de pesca como redes de arrastre y tijeras para coleccionar ostiones y otros bivalvos (Rivera-Guzmán *et al.*, 2014).

## I DELTAS Y LLANURAS DE INUNDACIÓN

Este grupo se caracteriza, desde el punto de vista genético, por presentar un predominio de la dinámica fluvial sobre la acción litoral. Se puede dividir en dos subgrupos. Los deltas, caracterizados porque su proceso de formación depende de la descarga fluvial, de la dinámica costera y de los procesos tectónicos que permiten la acumulación de sedimentos. Uno de los rasgos principales de los deltas es la rápida evolución que mantienen en el tiempo geológico, dando lugar a la formación de una gran variedad de zonas húmedas tanto de carácter temporal como permanente y

de agua dulce como salada. El otro subgrupo reúne a los humedales formados por encharcamientos, bastante permanentes, de aguas dulces y salinas procedentes de las inundaciones aluviales y de la descarga de aguas subterráneas (Soria y Sahuquillo, 2009). Un ejemplo es el delta del Río Colorado en el Alto Golfo (Figura 21).

## I ESTEROS

Es un cuerpo de agua léntico, formado en un estrecho canal natural o en antiguos brazos deltaicos cegados, de escasa profundidad, con poca superficie de agua libre y movimiento limitado con baja dinámica, que es afectado directamente por las mareas en pleamar y que, junto con la bajamar, definen sus límites. Generalmente los esteros forman vías de comunicación entre los depósitos de un sistema fluvio-marino. Se consideran esteros también aquellas intercomunicaciones entre lagunas y albuferas (Ringuelet, 1962; Ortiz-Pérez, 1975; Edwards, 1978; De la Lanza *et al.*, 1999). Un ejemplo es el estero de La Manzanilla en el estado de Jalisco (Figura 22).

## I MARISMAS

Es una depresión de la planicie costera pobremente drenada, con pequeñas lagunas y canales intercalados, que no son lo suficientemente profundos para formar lagunas; está directamente afectada por las mareas y se desarrolla en la llanura intermareal bordeando lagunas, barras, deltas y, en ocasiones, en costas bajas arenosas o en áreas de agradación; sus sedimentos



Figura 20. Estuario del Río Champotón, Campeche (Google, Digital Globe).



Figura 21. Delta del Río Colorado. (Google, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO, Image Landsat/Copernicus).

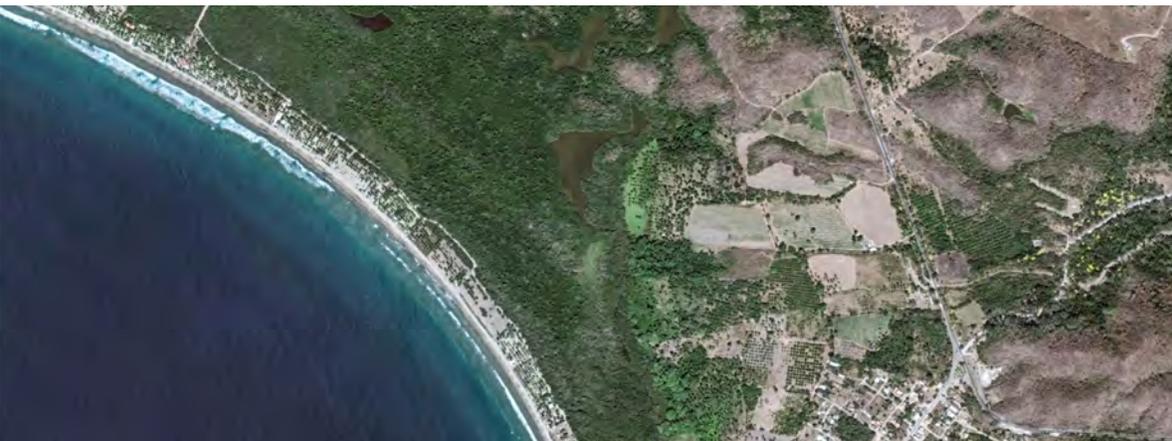


Figura 22. Estero La Manzanilla, Jalisco. (Google, Digital Globe).

están constituidos por partículas de grano fino que puede ser arena, limo-arcilla o arcilla. Esta zona se ve sujeta a gran variedad de condiciones por el ciclo diario y estacional de las mareas con los consiguientes cambios de temperatura, humedad y salinidad. El rasgo distintivo de una marisma es la vegetación; en los trópicos está constituida por mangle o praderas de plantas halófitas. La vegetación se desarrolla bajo condiciones de gran humedad y amplios intervalos de salinidad, (Ortiz-Pérez, 1975; Lassere, 1979; De la Lanza *et al.*, 1999). El ejemplo más notable en México son Marismas Nacionales en el estado de Nayarit (Figura 23).

## I MANGLARES

Los manglares se localizan tanto alrededor de las lagunas como en zonas interiores de ellas, a donde llega el agua de mar por la influencia de las mareas. Su estructura y composición depende también del hidropereodo, los reguladores y los recursos (Twilley y Rivera-Monroy, 2005). Los manglares más altos y de mayor diversidad están en sitios inundados por al menos ocho meses y con salinidades de 10 a 20%. Junto con los pastos marinos y por su extensión son zonas estratégicas para la crianza, refugio y alimentación de muchas especies de peces e invertebrados. Aportan una gran cantidad de materia orgánica como hojarasca y son verdaderos almacenes de carbono que acumulan tanto en la superficie aérea, como en las raíces hasta profundidades de 3 a 6 m dependiendo de los cambios del nivel del mar. La hojarasca que aportan los manglares es procesada por microorganismos y consumida por peces, crustáceos y plancton.

## I BAHÍAS

Son porciones de mar que penetra al continente formando una concavidad amplia, menor que un golfo y con mayor extensión que una playa de bolsillo y su área es igual o mayor que la del semicírculo que conforma. La influencia relativa de las olas y mareas en las bahías es variable y depende de las condiciones regionales. Las variaciones en la orientación, configuración y la profundidad del agua afectan a la penetración del oleaje. Se caracterizan por ser formaciones rocosas localizadas, como cabos o islas cercanas, que pueden proveer una barrera protectora a la penetración del oleaje y, dado que se presentan grandes intercambios de agua durante el ciclo de las mareas (o prisma de marea), estos sistemas generalmente están gobernados por dicha oscilación, incluso en las costas micromareales (Ej.: Acapulco, Guerrero; Figura 24).

## I SALINAS

Las salinas son masas de agua costera modificadas por la acción antrópica para la extracción de sal. Estos sistemas son un cuerpo de agua único cuando se forman, posteriormente, quedan divididas en muchos cuerpos de agua someros que son alimentados con agua marina o salmuera. Dichos cuerpos de agua forman esteros que se denominan evaporadores, concentradores y cristalizadores, dependiendo de la salinidad de la salmuera. Un ejemplo de estos sistemas se encuentra en las salinas de Guerrero Negro en el estado de Baja California Sur (Figura 25).



Figura 23. Marismas Nacionales, Nayarit. (Google, Image Landsat/Copernicus).



Figura 24. Bahía de Acapulco, Guerrero. (Google, Digital Globe).



Figura 25. Salinas de Guerrero Negro, Baja California Sur (Google, Image Landsat/Copernicus).

## I CARACTERÍSTICAS DE LAS BOCAS LAGUNARES

Las tres principales funciones de las bocas lagunares se pueden sintetizar como siguen.

- Son la interfaz de comunicación entre el mar y un cuerpo costero semi-cerrado. En esta interfaz se mantiene un equilibrio dinámico o evolución de los procesos sedimentarios muy complejo.

- El flujo (proceso de llenado cuando la marea sube) y reflujos (proceso de vaciado cuando la marea baja) de las corrientes inducidos por la marea y los ríos a través de la boca, permiten la renovación de agua, de modo que la calidad y la salinidad del agua de los cuerpos interiores es función del balance entre ambos procesos.

- La migración de peces, larvas de peces y nutrientes, entre otros, hacia los

cuerpos interiores depende de manera muy significativa de las condiciones hidrodinámicas de las bocas.

Las condiciones de flujo en las bocas de las lagunas costeras son una combinación de los efectos de marea, viento, descargas de ríos, oleaje y corrientes costeras, principalmente. La importancia de cada uno de estos factores depende de la condición meteorológica (calma o tormenta) y de las características morfológicas y mecánicas del medio físico. En general, las bocas de lagunas costeras tienen un canal corto y estrecho que divide dos islas de barrera y a su través, se conecta el océano (o mar) con un cuerpo de agua interior. Cuando el cuerpo interior es pequeño, la superficie del agua sube y baja de manera uniforme (co-oscilan) con la marea; por el contrario, si el cuerpo interior es suficientemente largo, puede contener más de una onda de marea y tener niveles de agua variables.



Raíces de mangle. Fotografía: Mariana Bravo.

La configuración de una boca individual puede variar temporalmente de manera significativa dependiendo del equilibrio de sedimentos y la hidrodinámica, sin embargo, frecuentemente la morfología está condicionada por la geología y las peculiaridades del sitio.

## **I VARIABLES QUE GOBIERNAN A LOS CUERPOS DE AGUA COSTEROS**

La forma de los estuarios y cuerpos costeros, en general, está determinada por un gran número de factores ambientales, como la historia del nivel del mar, el clima, la topografía, la tectónica, la geología del río, el suministro de sedimentos marinos, las corrientes de marea, la acción de las olas, el caudal del río y la biota. En consecuencia, cada canal ribereño tiene características propias que lo diferencian de todos los demás.

Las lagunas costeras son sistemas acuáticos, generalmente someros, con una elevada relación entre la superficie y el volumen. Esto, aunado a que en las zonas costeras el régimen de brisas diarias es importante, favorece una buena mezcla vertical de la columna de agua. En algunos casos particulares se pueden producir microestratificaciones diarias durante la noche debidas a la fuerte influencia de aguas marinas que, al ser más densas, tienden a mantenerse en la capa más profunda. El carácter somero y de baja pendiente de las lagunas costeras facilita el crecimiento de vegetación sumergida en toda el área inundada, siempre que la transparencia del agua lo permita. La línea de costa puede ser muy variable depen-

diendo del nivel de inundación, alcanzando los mayores niveles en épocas de máxima pluviosidad o mareas altas.

Una de las características de las lagunas costeras es el flujo del agua. En las zonas cercanas a las bocas, son sistemas muy dinámicos en los que salen aguas que normalmente tienen una composición rica en nutrientes y entran aguas marinas con mayor cantidad de sales. La cantidad de los aportes superficiales y las salidas, condiciona el balance hídrico del sistema. La tasa de renovación suele ser alta, sin embargo, se pueden presentar zonas con escaso movimiento. El estancamiento del agua es un factor negativo que afecta no solo la calidad del agua, sino también impide la libre circulación de especies.

La proximidad a la costa hace que la exposición al viento y a las brisas costeras sea mayor que en otros sistemas acuáticos tierra adentro. El impacto del viento en las lagunas costeras someras y sus posibles efectos erosivos o de depósito es también más significativo cuanto mayor es la superficie del cuerpo semicerrado y tiene especial incidencia en los sistemas temporales cuando éstos están carentes de lámina de agua. Por otra parte, el efecto del viento es también importante en la mezcla vertical y movilización del sedimento.

Una característica importante de la boca lagunar es su temporalidad. Es común encontrar lagunas costeras con bocas temporales, en las cuales durante la época de estiaje las corrientes marinas acumulan sedimentos que bloquean el flujo superficial de agua entre el cuerpo lagunar y el mar. Con las lluvias, se acumula agua dulce en la laguna que va adquiriendo suficiente fuerza y elevación, hasta que logra romper esta

barrera. Este tipo de funcionamiento tiene implicaciones importantes tanto ecológicas como en el manejo de las lagunas.

La mayoría de los humedales están conectados con masas de agua subterráneas, excepto algunos casos ubicados en la costa, donde no hay conexión con masas de agua continentales. En general, la cuenca superficial de drenaje está limitada al vaso lagunar y, en raras ocasiones, a cuencas territoriales. Las masas de agua subterráneas que están vinculadas con humedales son, en los demás casos, de mayor extensión que la propia cuenca superficial.

El hidroperiodo indica la frecuencia y persistencia de la presencia de agua en la laguna costera o de saturación del suelo. En las lagunas costeras, las variantes que pueden presentarse son:

- Permanentes no fluctuantes. Mantienen su nivel de agua todo el año con variaciones de nivel menores al 10% del nivel medio anual.

- Permanentes fluctuantes. Lagunas que mantienen su nivel, fluctuando en valores superiores al 10% del nivel medio anual. Las variaciones de nivel se deben a causas como la falta de aportaciones superficiales fuera del período de lluvias o la explotación excesiva de los acuíferos cercanos.

- Temporales estacionales. Son humedales costeros alimentados principalmente por aportes continentales-superficiales o subterráneos estacionales. Sólo presentan lámina de agua en periodos estacionales y quedan secos hasta el siguiente período de inundación.

- Mareales. Humedales costeros de alimentación exclusiva o mayoritaria-

mente marina que siguen el ciclo de inundación y secado de las mareas.

La configuración de una entrada o boca individual puede variar significativamente con el tiempo. A menudo, la configuración es altamente influida por la geología o las peculiaridades del sitio, en lugar de un simple equilibrio de los sedimentos y la hidrodinámica. La convergencia de las corrientes de varias direcciones puede generar turbulencias capaces de profundizar y ensanchar la boca, mientras que en condiciones de relativa calma parte del sedimento transportado por suspensión o arrastre decantará generando zonas de menor profundidad. Estos procesos de erosión y sedimentación normalmente generan un patrón complejo de barras, bancos y canales. |

## I Capítulo 6.

# CONCEPTOS BÁSICOS DE GESTIÓN DE LA COSTA

### I INTERACCIONES E INTERCONEXIONES

Las interconexiones físicas y ecológicas permiten el intercambio de sedimentos, el flujo de nutrientes y el paso de organismos de un ecosistema a otro, por ello, el entendimiento de estos intercambios, la identificación de los sistemas emisores, la fragilidad o robustez de la trayectorias y los efectos de posibles alteraciones son elementos fundamentales en el diseño de planes de gestión de cualquier ecosistema. En el caso de la zona costera, una primera interconexión vital es el arribo de los nutrientes inorgánicos que llegan con los sedimentos y los orgánicos que, produc-

to de la actividad biológica cuenca arriba, son acarreados por los ríos. Es evidente que si los ecosistemas cuenca arriba (emisores) o la trayectoria (cauce del río) son alterados (tala incontrolada, bloqueo del cauce, extracción de grandes volúmenes de agua o sedimento, estabilización de meandros), habrá repercusiones, a veces, de gran magnitud tanto en la estabilidad de la costa como en la supervivencia de la flora y fauna de los ecosistemas litorales. En la parte baja de la cuenca, los humedales, manglares, popales, tulares, selvas inundables, pastos marinos y arrecifes coralinos, son sumamente productivos y también aportan gran cantidad de nutrientes a las lagunas costeras y al mar, convirtiéndolas en sitios de gran importancia para las pesquerías. Las playas y dunas reciben nutrientes también por la aspersión de agua de mar, que contiene gran cantidad de minerales además de las algas, pastos marinos y restos orgánicos arrojados desde el mar hacia la playa, además de la actividad *in situ* de plantas y animales. De lo anterior, se entiende fácilmente lo complejo que resulta la gestión de la costa pues su funcionamiento depende del estado de salud de sistemas que pueden estar ubicados a cientos



de kilómetros. En este sentido, aún con una zonificación y planeación adecuadas, la zona costera presenta un alto grado de vulnerabilidad.

Las interconexiones también se hacen evidentes a través de uno de los grandes problemas de nuestra sociedad actual, los contaminantes y la basura. Las sustancias contaminantes y aguas negras producidas cuenca arriba se dispersan por escurremientos y ríos hasta llegar a humedales, lagunas y finalmente el mar. Muchas veces se encuentran cantidades importantes de estos contaminantes en lugares costeros muy alejados de la fuente de origen. Lo mismo sucede con la basura que es frecuente en orillas de ríos y bordes de lagunas, entre las raíces de los mangles o en las playas. La basura acarreada por los ríos o arrojada directamente al mar, viaja hacia a las playas y lagunas costeras y es por eso que las botellas y otros objetos de plástico son ahora parte común del paisaje de la costa.

Las interconexiones entre ecosistemas suelen ser propiciadas por pulsos regulares o episódicos, tales como las oscilaciones del mar, la disponibilidad de sedimentos, el nivel y periodicidad de las inundaciones, la migración local de organismos, entre otros. La flora y fauna que habitan la zona costera tienen la capacidad de adaptarse a estos pulsos o cambios, así como a la variación en la salinidad y la temperatura siempre que no sean de gran intensidad o abruptos como ocurre con las alteraciones artificiales. Algunos pulsos ocurren en segundos o minutos (oleaje), separados por unas horas (mareas), estacionales (descargas de agua y sedimentos en los ríos después de una tormenta o transporte eólico de

sedimentos), anuales (descargas de ríos) o multianuales (el Niño), una gestión sostenible de la costa debe considerar estos ciclos y sus implicaciones para buscar que cualquier actuación humana se adapte a ellos en lugar de alterarlos, interrumpirlos o convertirse en víctima de ellos (Moreno-Casasola e Infante-Mata, 2010).

## I GESTIÓN DE LAS DUNAS

Las dunas juegan un papel muy importante en la estabilidad de la línea de costa, en particular de las playas arenosas. Funcionan como reservas de sedimentos, ya que reciben, proveen y almacenan arena transportada de y hacia playas adyacentes (Ranwell y Boar, 1986). El suministro periódico de arena de la duna a la playa es un ciclo de retroalimentación que minimiza la erosión costera debido a que disipa la energía del oleaje y, en caso necesario, alimenta a la misma playa. La interrupción o disminución del balance de arena puede provocar la desaparición de playas (Nordstrom *et al.*, 1990). Esta función es fundamental hoy en día, ya que muchas de las playas del mundo se están erosionando. Lo anterior es particularmente preocupante, puesto que en muchos países, entre ellos México, hay grandes inversiones económicas en los litorales con playas, y éstas son uno de los destinos más importantes de los vacacionistas.

Las dunas costeras también funcionan como barreras naturales de protección que actúan como defensa ante fenómenos hidrometeorológicos extremos e inundaciones; son ecosistemas clave para la recarga de acuíferos y para amortiguar la

intrusión salina. Además, son hábitat de especies endémicas o en alguna categoría de riesgo (Ranwell y Boar, 1986; Agardy *et al.*, 2003; Martínez *et al.*, 2004; Seingier *et al.*, 2009). Se ha demostrado que en las zonas donde se mantienen dunas costeras en buen estado de conservación, el impacto de fenómenos naturales como tormentas y huracanes es menor que en aquellas zonas donde las dunas están severamente deterioradas. Las dunas costeras ayudan a mantener la línea de costa y a sostener las playas. Estas funciones son cada vez más importantes ante escenarios de cambio climático.

Para manejar las dunas, es muy importante comprender que son sistemas dinámicos con momentos y espacios en que no hay vegetación y se mueven y erosionan. También es fundamental entender que hay una interacción permanente e intensa entre las playas y las dunas. Una le proporciona arena a la otra y viceversa.

### **I LADO A LADO: ACANTILADOS, PLAYAS, DUNAS, HUMEDALES Y LAGUNAS**

La heterogeneidad de la costa y sus interconexiones con las zonas terrestres dan lugar a gradientes de sedimentación, inundación y salinidad, lo que propicia la existencia de ecosistemas distintos lado a lado. Desde una vista aérea sobre la costa pueden distinguirse patrones formados por lagunas rodeadas de manglares y humedales de agua dulce (gradiente de salinidad), humedales hacia dunas (gradiente de inundación) y los procesos de sedimentación que contri-

buyen a la formación del relieve que, a su vez, condiciona la dirección de los flujos de agua, su permanencia y profundidad. Entre los ecosistemas costeros, el estuario permanece inundado más tiempo y bajo salinidades mayores, seguido por el manglar (Figura 26). En los estuarios la salinidad varía a lo largo de un gradiente formado por el contacto entre el agua continental y el agua marina impulsada por las mareas. Dependiendo de las condiciones locales, las marismas y playas se inundan durante mareas altas, pero mantienen condiciones de salinidad elevada. Como parte de este gradiente, en el extremo más cercano a las condiciones terrestres se ubican las dunas y los acantilados (Moreno-Casasola, 2010). Las especies características de estos ecosistemas presentan un intervalo amplio de tolerancia a las condiciones extremas de inundación y salinidad.

Por otro lado, también es importante tomar en cuenta que las playas y dunas son interdependientes e intercambian sedimentos continuamente. Es decir, interactúan continuamente y esta interacción tiene un impacto fuerte en la evolución y desarrollo de las costas (Packham y Willis, 1997). Un ejemplo de ello es lo que sucede cuando se modifican las fuentes de arena cercanas a la playa y dunas, como ocurre cuando los ríos se canalizan, se construyen presas río arriba, o bien se destruyen las dunas en la parte posterior de la playa. Como respuesta a estas alteraciones, se reajusta la dinámica sedimentaria de la costa y entonces las playas se hacen angostas e incluso llegan a desaparecer. Las dunas también pueden crecer o disminuir por efecto del oleaje y el viento

que acumulan sedimentos, y también por la presencia de las minas submarinas de arena y los sedimentos aportados por los arroyos circunvecinos.

Por lo anterior, la gestión integral de la costa siempre debe considerar que la cuenca se interconecta desde las partes altas hasta la plataforma continental y los ecosistemas se enlazan, a través del agua, de los sedimentos y de la propia salinidad aportada por el mar. En este sentido, el balance de sedimentos en el corto plazo (asociado a tormentas) y largo plazo (tendencias a acrecer, neutras o erosivas) de las playas y dunas es un elemento muy relevante. La Figura 26 permite entender

por qué las acciones que modifican el nivel de inundación o la salinidad o que reducen la cantidad de sedimentos pueden provocar el cambio de un ecosistema a otro. Por ejemplo, cuando se bloquea una vena de agua se modifican los patrones de inundación cambia la composición biótica y por tanto el tipo de humedal. Lo mismo ocurre al bloquear el paso de agua o abrir bocas en sistemas lagunares con lo que se modifica la salinidad. En consecuencia, los permisos de construcciones y/o modificaciones en la zona costera deben evaluarse tomando en cuenta no solamente el impacto en un ecosistema, sino también la posible alteración en ecosistemas colindantes. |

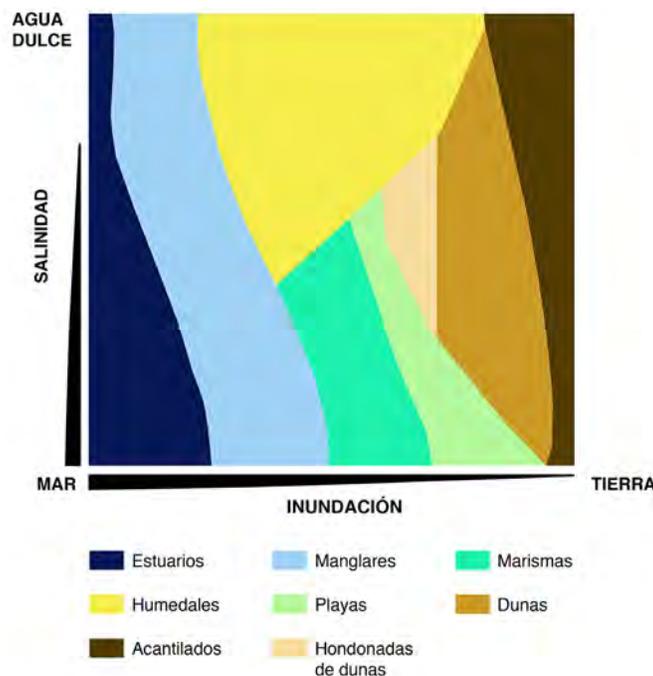


Figura 26. Representación esquemática de cómo la vecindad e interacción entre los ecosistemas costeros se puede explicar a través de los gradientes de salinidad e inundación. En el extremo más inundado y salino están los estuarios mientras que en el extremo menos inundado y poco salino están las dunas y acantilados. Los manglares se ubican en zonas menos inundadas que los estuarios, pero en un amplio ámbito de salinidades. Los humedales de agua dulce también están sujetos a variaciones en la inundación pero la salinidad a la que están expuestos es menor que en los manglares y las marismas. (Modificada de: Moreno-Casasola, 2010).

## BIBLIOGRAFÍA

- Agardy, T., Bridgewater, P., Crosby, M.P., Day, J., Dayton, P.K., Kenchington, R., Laffolley, D., McConney, P., Murray, P.A., Parks, J.E., y Peau, L. 2003. *Dangerous targets? Unresolved issues and ideological clashes around marine protected areas*. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 13: 353-367.
- Cotler Ávalos, E. 2010. *Las cuencas hidrográficas de México: Diagnóstico y priorización*. INE, Pluralia Ediciones, S.A. de C.V. México D.F., 21pp.
- Dabrio, C.J. 1992. En: Arche, A. (Ed.). Sedimentología. Colección Nuevas Tendencias, Vol. 11, CSIC, Madrid, España. 495-543 pp. De la Lanza, G., Cáceres, C., Adame, S., y Hernández, S. 1999. *Diccionario de hidrología y ciencias afines*. Plaza y Valdés, México, 287 pp.
- Dean, R.G., y Dalrymple, R.A. 2002. *Coastal processes with engineering applications*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 475 pp.
- Espejel, I., Peña-Garcillán, P., y Jiménez-Orocio, O. 2013. *Flora de playas y dunas de México*. Informe Técnico Final. Conabio HJ007.
- Edwards, R.R.C. 1978. *Ecology of a coastal lagoon complex in Mexico*. Estuarina, Coastal and Marine Science, 6:75-92.
- Hesp, P.A. 2000. *Coastal sand dunes: form and function*. Coastal Dune Vegetation Network. Forest Research Institute. Technical Bulletin No. 4. Massey University, New Zealand, 28 pp.
- Holmes, A., Holmes, D.L. 1973. *Geología física* 3ª ed. Omega, Barcelona, España, 828 p.
- Lankford, R.R. 1977. *Coastal lagoons of Mexico. Their origin and classification*. En: Wiley M. (Ed.). Estuarine processes. Volumen 2. Academic Press, Inc., Nueva York, 182-215 pp.
- Lassere, P. 1979. *Coastal lagoons, sanctuary ecosystems, cradles of culture, targets for economic growth*. Nature and Resources (UNESCO), 15: 2-21.
- Longwell, C.R., y Flint, R.F. 1971. *Geología física*. Limusa-Wiley, México, 545 pp.
- Martínez, M.L., Maun, A.M., y Psuty, N.P. 2004. *The fragility and conservation of the world's coastal dunes: geomorphological, ecological and socioeconomic perspectives*. En: Martínez, M.L., y Psuty, N. (Eds.). Coastal dunes: ecology and conservation. Springer-Verlag, Berlín, 355-370 pp.
- Martínez, M.L., y Moreno-Casasola, P. 1996. *Effects of burial by sand on seedling growth and survival in six tropical sand dune species*. Journal of Coastal Research, 12: 406-419.
- Moore, B.D. 1982. *Beach profile evolution in response to changes in water level and wave height*, Master's Thesis. Department of Civil Engineering. University of Delaware, Delaware.
- Moreno-Casasola, P. 1982. *Ecología de la vegetación de dunas costeras: factores físicos*. Biótica, 7: 577-602.
- Moreno-Casasola, P. 1986. *Sand movement as a factor in the distribution of plant communities in a coastal dune system*. Vegetation, 65: 67-76.
- Moreno-Casasola, P. 2010. *Veracruz: Mar de arena*. Gobierno del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y de la Revolución Mexicana - Universidad Veracruzana, 283 pp.
- Moreno-Casasola, P., e Infante Mata, D. 2010. *Veracruz: Tierra de ciénagas y pantanos*. Gobierno del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y de la Revolución Mexicana-Universidad Veracruzana, 411 pp.
- Neshyba, S. 1987. *Oceanography: Perspectives on a fluid earth*. John Wiley & Sons, New York, 506 pp.
- Nordstrom, K.F., Psuty, N.P., y Carter, R.W.G. 1990. *Coastal dunes: form and process (Vol. 2)*. John Wiley & Sons Inc, 392 pp.
- Ortiz-Pérez, M.A., y De la Lanza-Espino G. 2006. *Diferenciación del espacio costero de México: Un inventario regional*. Serie textos Universitarios, Instituto de Geografía, UNAM, 145 pp.
- Ortiz-Pérez, M.A. 1975. *Algunos conceptos y criterios de clasificación de los medios lacustres*. Anuario de Geografía, UNAM, México, 129-138 pp.
- Packham, J.R., y Willis, A.J. 1997. *Ecology of dunes, salt marsh and shingle*. Springer Science & Business Media, 335 pp.
- Perillo, G.M.E. 1995. *Definition and*

- geomorphologic classifications of estuaries*. En: Perillo, G.M.E (ed.) *Developments in Sedimentology* 53: Geomorphology and sedimentology of estuaries. Elsevier, Amsterdam, 17-47 pp.
- Ranwell, D.S., y Boar, R. 1986. *Coastal Dune Management Guide*. Institute of Terrestrial Ecology, Abbots Rippon, Norwich, 105 pp.
- Ringuelet, R.A. 1962. *Ecología acuática continental*. EUDEBA. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires, 138 pp.
- Rivera-Guzmán, N.E., Moreno-Casasola, P., Ibarra-Obando, S.E., Sosa, V. J., y Herrera-Silveira, J. 2014. *Long term state of coastal lagoons in Veracruz, Mexico: Effects of land use changes in watersheds on seagrasses habitats*. *Ocean & Coastal Management*, 87: 30-39.
- Ryan, D.A., Heap, A.D., Radke, L., y Heggie, D.T. 2003. *Conceptual models of Australia's estuaries and coastal waterways: Applications for coastal resource management*. Geoscience Australia. Record 2003/09. 136 pp.
- Seingier, G., Espejel, I., Ferman, J.L. 2009. *Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana*. *Investigación Ambiental*, 1:54-69.
- Silva, R. y Mendoza, E. 2015. Capítulo A.2.17 Obras Marítimas: Tomo I al Tomo V, Sección A: Hidrotecnia, Tema 2: Hidráulica. *Manual de Diseño de Obras Civiles*. Comisión Federal de Electricidad. México. (En imprenta)
- Soria, J.M., y Sahuquillo, M. 2009. *Lagunas costeras*. En: V.V. A.A. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid, 303 pp.
- Tanner, W.F. 1958. *The zig-zag nature of type I and type IV curves*. *Journal of Sedimentary Petrology*, 28: 372-375.
- Thornbury, W.D. 1969. *Principles of geomorphology*. 2nd edition. John Wiley & Sons, New York, 618 pp.
- Trefethen, J.M. 1979. *Geología para ingenieros*. Compañía Editorial Continental, S.A., México, 636 p.
- Twilley, R.R., y Rivera-Monroy, V.H. 2005. *Developing performance measures of mangrove wetlands using simulation models of hydrology, nutrient biogeochemistry, and community dynamics*. *Journal of Coastal Research*, 40:79-93.
- Wicander, R., y Monroe, J.S. 1999. *Fundamentos de geología*. Thompson Editores, México, 445 pp.



Las costas son paisajes sumamente diversos, resultantes de una gran heterogeneidad geomorfológica, climática, ecológica y socioeconómica. El funcionamiento de toda la zona costera depende de procesos internos y externos que ocurren a diferentes escalas espacio-temporales.

La preservación de los ecosistemas costeros y los servicios que proveen a la sociedad, requiere de lograr un manejo integral que considere que la zona está formada por subsistemas interconectados y que su deterioro puede ser causado por eventos que ocurren tierra adentro o en sitios contiguos.

Este estudio busca favorecer la integración de conceptos clave sobre la formación e interacción de los elementos que tienen influencia sobre las costas en ejercicios de planeación y de manejo de la misma. Para ello, se presentan conceptos básicos sobre el funcionamiento de las costas que abarcan desde cuencas hasta celdas litorales.

