

# ANTECEDENTES SOBRE EL USO DE BARRERAS VEGETALES EN EL BORDE COSTERO



## DOCUMENTO DE TRABAJO

*PROYECTO INNOVA-CHILE  
FORTALECIMIENTO DE LAS CONDICIONES HABILITANTES POR MEDIO DE LA  
PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE DAÑOS DEBIDO A CATÁSTROFES  
OCEÁNICAS, A TRAVÉS DEL ESTABLECIMIENTO DE BARRERAS VEGETALES  
EN EL BORDE COSTERO DE LAS REGIONES VII Y VIII*

Concepción, Junio 2011

## ANTECEDENTES SOBRE EL USO DE BARRERAS VEGETALES EN EL BORDE COSTERO



### DOCUMENTO DE TRABAJO

*PROYECTO INNOVA CHILE  
FORTALECIMIENTO DE LAS CONDICIONES HABILITANTES POR MEDIO DE  
LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE DAÑOS DEBIDO A CATÁSTROFES  
OCEÁNICAS, A TRAVÉS DEL ESTABLECIMIENTO DE BARRERAS VEGETALES  
EN EL BORDE COSTERO DE LAS REGIONES VII Y VIII*

*Juan Carlos Pinilla S.  
Director de Proyectos  
Instituto Forestal  
Bio Bio*

Concepción, Junio 2011

## RESUMEN

En su rol de institución de investigación y desarrollo del Ministerio de Agricultura, el Instituto Forestal inició una investigación orientada a estudiar los potenciales efectos positivos de los bosques costeros establecidos para disminuir las pérdidas de vidas humanas y mitigación de daños sobre obras civiles, viviendas, empresas e industrias, terrenos agrícolas y urbanos frente a eventos marinos, como el reciente Tsunami que afectó a gran parte del país.

Esta investigación se realiza en el marco del proyecto financiado por INNOVA Chile *Fortalecimiento de las condiciones habilitantes por medio de la prevención y mitigación de daños debido a catástrofes oceánicas, a través del establecimiento de barreras vegetales en el borde costero de las regiones VII y VIII*, adjudicado a INFOR en el Concurso de Bienes Públicos para la Innovación y Fortalecimiento de Capacidades para la Reconstrucción 2010.

La propuesta en desarrollo por INFOR pretende entregar información para determinar la utilidad de este tipo de barreras vegetales en el país, a través de la recopilación de la información existente a nivel mundial y el análisis para su aplicación en Chile, la coordinación con otros organismos del estado relacionados con el Borde Costero, la selección de especies adecuadas para estos efectos, investigación en el tipo de planta requerida, su ordenación espacial y arquitectura y el establecimiento de unidades operacionales demostrativas. Esta iniciativa está acorde con los esfuerzos de Planificación Territorial que están desplegando los Gobiernos Regionales de la VII y VIII Región, como un componente importante del nuevo diseño de organización geográfica en áreas cercanas al borde costero.

Por ello, y como primera actividad, se ha realizado una recopilación de antecedentes que ayuden a esclarecer o comprender el real efecto o actuación de este tipo de barrera vegetal establecida en el borde costero.

Estos antecedentes servirán para los planificadores urbanos e instituciones relacionadas con el uso del borde costero, como un insumo más o elemento complementario de todas las obras y acciones que se establezcan en el plan de mitigación de desastres oceánicos que se defina implementar en el país.

Este documento pretende entregar una primera aproximación a este importante tema en busca de su real aplicabilidad en el borde costero nacional, presentando en primer lugar información sobre la utilización de barreras vegetales para la mitigación de daños costeros por eventos tipo Tsunami o inundaciones (función protectora de los bosques costeros), mientras que la segunda parte entrega antecedentes de las potenciales especies a utilizar para el establecimiento de este tipo de barreras.

## INTRODUCCIÓN

La vida del hombre en el planeta se desarrolla en un contexto de permanente interacción con el sistema natural y con eventuales desastres naturales. Un desastre natural se produce por una relación inadecuada, inesperada o desconocida entre personas y dicho sistema. El desastre natural en ciertas situaciones es la materialización del riesgo percibido. Al ocupar áreas de riesgo se genera un daño potencial de un evento natural. En consecuencia, un evento natural extremo adquiere la connotación de desastre cuando el hombre y/o sus actividades y sus bienes se encuentran involucrados.

Se estima que cerca de dos tercios de la población mundial, aproximadamente 3,7 billones de habitantes, viven en las zonas costeras, y que dicha cifra se incrementará para el año 2.025, hasta alcanzar el 75% de la población del planeta. Ello, en gran parte motivado porque en estas regiones se encuentran gran parte de los ecosistemas más productivos y de mayor biodiversidad. En Chile la tendencia de habitabilidad del borde costero se repite en relación a la situación mundial, concentrándose un alto nivel poblacional en estos sectores.

De todos los riesgos naturales destructores que el hombre debe afrontar, los tsunamis son uno de los más crueles y los más implacables por su rapidez y su violencia imprevisible. La ciencia puede ser un medio de conocerlos y predecirlos, pero no para erradicarlos (Sommer, 2005).

Es así como recientes catástrofes que afectaron al borde costero del país, dejaron de manifiesto la necesidad de enfrentar con diversas medidas estos eventos, de modo de disminuir o mitigar los importantes daños que un Tsunami o marejadas pueden provocar, y junto con ello, fortalecer las condiciones habitantes que le permitan a los sectores productivos seguir desarrollando sus actividades.

En efecto, el terremoto ocurrido en Chile el 27 de febrero de 2010, alcanzó una magnitud de 8,8 MW, cuyo epicentro se ubicó en el Mar Chileno, frente a las localidades de Curanipe y Cobquecura, cerca de 150 kilómetros al noroeste de Concepción y a 63 kilómetros al suroeste de Cauquenes, y a 30,1 kilómetros de profundidad bajo la corteza terrestre.

Debido a la localización submarina del epicentro y su proximidad con la costa, gran parte de los estragos fueron ocasionados por el tsunami asociado al movimiento sísmico sobre las localidades costeras. Esta masa de agua a gran velocidad azotó las costas chilenas en pocos minutos, alcanzando las localidades costeras de las regiones del Maule y del Biobío. En Constitución, la primera ola del maremoto llegó cerca de media hora luego del sismo principal, que según testigos, superó los ocho metros de altura, siendo seguida unos minutos después por una segunda ola más fuerte de unos diez metros y finalmente una tercera, similar a la primera. El mar ingresó a localidades como Pelluhue y Curanipe, superando los 150 metros al interior en Pichilemu, Ilca, Duao y hasta 200 metros en Coi Coi. En el puerto de Talcahuano, olas de hasta 5 metros penetraron en el casco de la ciudad y el nivel del mar se elevó por sobre los 2,4 metros. El puerto de Valparaíso enfrentó un alza de 1,7 metros en el nivel oceánico. El desastre ocasionó 512 muertos, 16 desaparecidos y 800 mil personas damnificadas.

La mayor cantidad de fallecidos fue debido al tsunami. Por ejemplo en la comuna de Pelluhue se registraron 47 muertos, 6 eran pobladores de este lugar y 41 fueron turistas chilenos (OPS, 2010).

Un tsunami, (del japonés, literalmente gran ola en el puerto) es una ola o un grupo de olas que se producen en el agua cuando éstas son empujadas por una gran fuerza que hace desplazarse verticalmente, de modo que el océano es impulsado fuera de su equilibrio normal. Cuando esa inmensa masa de agua trata de recuperar su equilibrio, se generan las olas.

Si bien cualquier océano puede experimentar un tsunami, es más frecuente que ocurran en el Océano Pacífico, cuyas márgenes son más comúnmente asiento de terremotos de magnitudes considerables. La zona situada a lo largo de la costa del Océano Pacífico es parte del denominado "Círculo de fuego del Pacífico" (especialmente las costas de Chile, Perú y Japón) constituido por una serie de volcanes vinculados a fallas tectónicas en la costa y en el fondo marino en su mayoría activos, provoca una permanente actividad sísmica y volcánica en toda la zona andina, determinando una gran vulnerabilidad de las zonas costeras y la población que allí habita, frente a estos eventos.

Además el tipo de falla que ocurre entre las placas de Nazca y Sudamérica, llamada de subducción, lo cual significa que una placa se va desplazando bajo la otra, hacen más propicie la deformidad del fondo marino y al final los tsunamis (Sommer, 2005).

Es en este sentido, que es imprescindible contar dentro del plan de reconstrucción, con diversas medidas de modo de disminuir o mitigar los importantes daños que un Tsunami o marejadas pueden provocar.

Una combinación de sistemas de defensas naturales y artificiales se puede utilizar de forma conjunta para proporcionar una mayor protección contra los tsunamis. Así como también, medidas no estructurales, tales como la conciencia del riesgo y la educación, simulacros de evacuación y cursos de preparación junto con la protección natural de las costas, pueden ayudar a prevenir pérdida de vidas humanas (Khazai, *et al* 2007). Similar opinión es la de Gallear *et al* (2010) quienes sustentan que un sistema de alerta temprana y un público informado es la pieza fundamental de un sistema estratégico eficaz contra un tsunami. Sin embargo, estos sistemas pueden fallar. Si un tsunami se genera a nivel local, en los primeros instantes, no existe tiempo suficiente para una evacuación.

Por su parte Tanaka *et al.* (2007) clasifican las técnicas de mitigación en términos generales de dos maneras. Estos son los métodos artificiales (soluciones duras) y métodos naturales (soluciones suaves) utilizando una zona de amortiguamiento natural de la vegetación costera, dunas, o los arrecifes de coral. Métodos artificiales son sobre todo tipo de barreras en el mar (Diques, enormes terraplenes, etc.). Sin embargo, los costos de construcción de los métodos artificiales pueden ser muy altos, lo que restringe el desarrollo, en muchos casos. Algunos países desarrollados, como Japón, que han sufrido frecuentes amenazas de desastres naturales, han utilizado estas técnicas acompañadas o en combinación con barreras vegetales.

Estas medidas, que van desde planes de evacuación hasta la construcción de obras de envergadura, incluyen el establecimiento de murallas verdes o barreras de protección en base a la disposición en terreno de ciertas especies forestales. Estas barreras verdes en una ordenación espacial y arquitectónica determinada, pueden ayudar a disminuir y disipar la energía destructiva que pueda presentar un evento marino como los ya descrito, mitigando los daños que puedan ocurrir en propiedades particulares, obras civiles, y lo más importante, en vidas humanas.

Este tipo de barrera es utilizada en países con extensas líneas costeras, como lo es Japón, señalándose que uno de los métodos más eficaces de protección frente a un tsunami son los árboles, especialmente aquellos que tienen raíces profundas y con cobertura densa, los cuales puede proteger eficazmente contra los tsunamis. Existen antecedentes y metodologías que pueden ser utilizadas en Chile para la mitigación de daños, entregando a su vez, un escenario con mayores beneficios ambientales (belleza escénica, sombra, recreación, etc.).

Algunos reportes señalan que es conveniente establecer estas barreras cerca de alta mar, con una protección continua y sin agujeros. Estas medidas, aplicadas especialmente para la protección de villas o poblados, protegen de las inundaciones y los tsunamis, con un equilibrio entre la necesidad de protección y los recursos utilizados. Estas estructuras además, se complementan con obras de mayor envergadura (rompeolas, diques, etc.). Incluso en las zonas con fuerte actividad turística los planes se basan en fomentar la plantación de árboles bajos en una banda que se extiende prácticamente ininterrumpida a lo largo de toda la costa.

Se ha concluido que los árboles y los bosques costeros pueden ayudar en la atenuación de los impactos de tsunamis; sin embargo, el grado de su eficacia depende de muchas variables. Los bosques y los árboles costeros no ayudarán en el caso de tsunamis muy grandes. La eficacia de árboles y de bosques en la reducción de impactos del tsunami depende del ancho, de la densidad y de la estructura de la vegetación. Las fajas estrechas de árboles costeros pueden exacerbar el daño si los árboles se derrumban y se agregan a los restos flotantes llevados al interior por el tsunami. Según la bibliografía, árboles de perfil alto y delgado y con sistema radicular superficial proporcionan poco o nada de protección contra tsunamis; en el mismo sentido, bosques densos pueden proporcionar mayor protección. Por el contrario, los humedales han sido más eficientes en la atenuación de los impactos de un tsunami. El desarrollo de este tipo de elementos involucra la articulación con Municipalidades, Instituciones, Ministerios y requiere de su inclusión como elemento de planificación urbana.

En este escenario es posible aprovechar los resultados de la investigación de INFOR con especies forestales de rápido crecimiento más la experiencia internacional sobre barreras vegetales existentes en países del Asia para la colecta de información necesaria, con una componente importante de análisis de información y desarrollo de los modelos necesarios.

De este modo será posible validar y adoptar este tipo de medidas para prevenir o minimizar posibles daños a centros poblados y productivos de las costas del país, y de ser positivo el resultado, disminuir las pérdidas directas por daños ocasionados por fenómenos de la naturaleza y disminuir además, los montos requeridos para reparación de los posibles daños.

Cabe mencionar que una parte importante de los trabajos consultados se basan en estudios realizados tras el Tsunami del 2004 en el Océano Índico, en escenarios e vegetación distintos a los encontrados en nuestro país. No obstante, ellos son un punto de partida, que con sus debilidades y fortalezas, nos muestran el camino a seguir para realizar un estudio adecuado.

## 1. FUNCIÓN PROTECTORA DE LOS BOSQUES COSTEROS

### 1.1 De la utilización de barreras vegetales para la mitigación de daños costeros por eventos tipo Tsunami o inundaciones

El bosque, juega un importante papel en el mantenimiento del equilibrio ecológico, siendo al mismo tiempo un elemento clave en el paisaje y un suministrador de materias primas y diversos servicios protectores a las sociedades (Gottle and Sene, 2007).

Por otro lado, la erosión costera y la acumulación de sedimentos son procesos naturales, los que sin embargo pueden convertirse en un problema cuando se ve agravada por la actividad humana o desastres naturales. Este tipo de situación está muy extendida en la zona costera de Asia y otros países en el Océano Índico y Pacífico, debido a una combinación de diversas fuerzas de la naturaleza, el crecimiento demográfico, la deforestación y el desarrollo económico no administrado a lo largo de la costa, dentro de las cuencas fluviales y marítimas, entre otras.

Esto ha llevado a importantes esfuerzos para controlar la situación y restablecer la capacidad de la costa para dar cabida a cambios a corto y largo plazo inducidos por las actividades humanas y los fenómenos extremos. Comprender los procesos clave de la dinámica costera y cómo están funcionando las costas tanto en escalas de tiempo espacial y temporal (a corto y largo plazo), en conjunto con las actividades humanas a lo largo de la costa, dentro de las cuencas fluviales y en alta mar, es fundamental para la gestión de problemas de erosión costera y eventos extremos como los tsunamis, lo que ha sido reportado en China, Japón, India, Indonesia, Viet Nam, Sri Lanka, Tailandia, Bangladesh y Malasia, entre otros.

Se ha concluido que los árboles y los bosques costeros pueden ayudar en la atenuación de los impactos de tsunamis. Sin embargo, el grado de su eficacia depende de muchas variables. Los bosques y los árboles costeros, al igual que otras estructuras, no ayudarán en el caso de tsunamis de gran magnitud. La eficacia de árboles y de bosques en la reducción de impactos del tsunami depende del ancho, de la densidad y de la estructura de la vegetación.

Con base en estudios y los resultados científicos, se señala que la presencia de vegetación en las zonas costeras mejora la estabilidad de taludes, consolida los sedimentos y reduce la energía de las olas en su movimiento en tierra. En algunos casos, la vegetación falla porque las condiciones ambientales no favorecen el crecimiento de las especies en el sitio en particular o si hay ignorancia en cuanto a cómo se plantan éstas en forma adecuada en las mismas condiciones. También es posible que las influencias antropogénicas hayan alterado los procesos naturales de la zona. El indicador más claro de la idoneidad del sitio es la presencia de vegetación cada vez más intensa. Esto puede ser apoyado por otros factores como la pendiente, la altitud, amplitud de la marea, salinidad, sustrato y la hidrología (Clark, 1995; French, 2001).

Se ha reconocido que los bosques y los árboles proporcionan una cierta protección costera y que la tala de bosques y árboles costeros incrementa la vulnerabilidad de las costas a la erosión, como en Viet Nam (Mazda et al., 1997; Cat et al., 2006), Malasia (Othman, 1994), Indonesia (Bird y Ongkosongo, 1980; Nurkin, 1994; Tjardana, 1995), Sri Lanka (Samarayanke, 2003), India (Malini y Rao, 2004; Gopinath y Seralathan, 2005) China (Bilan, 1993) y Tailandia (Thampanya et al., 2006). En estos países se ha analizado el papel de los bosques y árboles costeros en la protección de las áreas costeras contra la erosión costera, así como sus aspectos socioeconómicos y ambientales.

Otros autores también han reconocido que a la vegetación costera como un método natural para reducir la energía de las ondas de un tsunami (Anónimo, 2005; Ganesan, 2005; Kar y Kar, 2005; Kathiresan y Rajendran, 2005, Kumar, 2005; Anónimo, 2006; Dahdouh-Guebas *et al*, 2006; Raghunathan, 2006; Vermaat y Thampanya, 2006; Olwig *et al*, 2007).

Sin embargo, una barrera de vegetación no puede detener completamente un tsunami, y su efectividad depende de la magnitud del tsunami, así como de la estructura de la vegetación (Tanaka, 2010). El mismo autor señala que la vegetación costera, junto con otros elementos naturales como las dunas y arrecifes sumergidos, implican una inversión de capital relativamente más baja en comparación con medidas artificiales; proporcionan un escenario más armónico con el paisaje y también mejoran las interrelaciones con otros sistemas ecológicos.

Varios modelos matemáticos y estudios han demostrado que la magnitud de la reducción de energía en un bosque depende fuertemente de la densidad de árboles, del diámetro de los troncos y raíces, inclinación del suelo forestal, las características (altura, periodo, etc.) de las ondas incidentes, y de la etapa de la marea en la que las olas entran en un bosque (Mazda *et al.*, 1997a, 1997b, 2006).

Alongi (2008), por su parte, señala que el grado en el cual los bosques costeros pueden mitigar el efecto de estos eventos depende de factores como: el ancho de la franja de bosque, la pendiente del terreno, la densidad de los árboles, el diámetro y la altura de los árboles, la textura del suelo, la ubicación del bosque, el tipo de vegetación y la cobertura de las tierras bajas adyacentes, el tamaño y la velocidad del tsunami, la distancia de eventos tectónicos y el ángulo de incursión del tsunami en relación con la línea de la costa. A similar conclusión llega Srinivas *et al.* (2007), quienes señalan que la importancia de la vegetación costera se correlaciona con la distancia de un pueblo a la costa, la pendiente, la complejidad topográfica, la historia del uso del suelo, batimetría cercana a la costa, etc.

Danielsen *et al.* (2005) realizó un estudio sobre el papel de la vegetación en la mitigación de los impactos del tsunami a lo largo de la costa afectada por el tsunami en el distrito de Cuddalore en Tamil Nadu, India. En los resultados de su análisis, las comparaciones estadísticas de daños en las zonas con densidades de vegetación sugiere que los Manglares ayudaron a mitigar los daños causados por el tsunami debido a que las aldeas situadas detrás de los manglares no fueron dañados en comparación a los pueblos desprovistos de manglar.

Por su parte Ba-Thuy *et al.* (2010), agregan que la reducción de los daños del tsunami detrás de un bosque costero depende de las especies vegetales y sus dimensiones (altura del árbol, el diámetro y la densidad), la copa y la disposición del bosque (junto a la longitud de la costa y la anchura transversal a la costa), y las condiciones del tsunami.

Quartel *et al.* (2007), citados por Khazai *et al* 2007, utilizaron la instrumentación de terreno para probar la velocidad de la corriente y del nivel de agua en una planicie expuesta y otra protegida por un manglar. Sus resultados mostraron que la reducción de altura de la ola fue de 5-7,5 veces mayor en la zona donde estaba el manglar. La atenuación de la onda es por el hecho de que los bosques de manglares actúan como sumideros para la suspensión de sedimentos (Woodroffe, 1992; Wolanski *et al.*, 1992; Wolanski, 1995; Furukawa *et al.*, 1997, citados por Kathiresan and Rajendran, 2005).

Tanaka *et al.* (2007) describieron las posibles funciones que la vegetación costera puede potencialmente aportar durante el tsunami. Para cualquier futuro manejo de la vegetación costera o proyecto de ordenación del territorio, se deben tener las siguientes consideraciones:

- *Efecto de caída suave: Las personas atrapadas en las olas pueden tener una mayor oportunidad de sobrevivencia si los árboles cuentan con ramas densas y hojas.*
- *El efecto de sumidero: Durante un tsunami, el arrastre de autos y escombros de casas destruidas, incluso personas heridas, pueden ser atrapados por árboles de mayor diámetro. En particular, si un bosque se encuentra detrás de una duna de arena, podría atrapar la mayor parte de los escombros y evitar que las viviendas ubicadas detrás del bosque se dañen.*
- *El efecto de escape: Las personas también pueden escapar de un tsunami trepando a los árboles.*

Se ha destacado que una estructura horizontal de los bosques con árboles de diámetro pequeño y grande es eficaz debido a que la densidad de la población de árboles de pequeño diámetro (>10 cm) podría reducir la velocidad de la corriente del tsunami, mientras que los árboles de gran diámetro (> 30 cm) podrían atrapar ramas rotas, autos y escombros. La estructura vertical también es eficaz para personas arrastradas por el tsunami o para la escalada de los árboles (Tanaka *et al.*, 2007). Un grosor moderado de los árboles, especialmente los que tienen raíces profundas y cobertura densa, puede proteger eficazmente contra los tsunamis.

Para la rehabilitación costera, es decir, la planificación óptima de los sistemas naturales y su mantenimiento, se requiere dilucidar cuantitativamente los efectos de la vegetación en la reducción del potencial de un tsunami. Esto requiere que el conocimiento de las limitaciones de los bosques costeros en relación con la magnitud de un tsunami y el mantenimiento de los bosques como zonas de amortiguamiento natural, deben ser acciones entendidas correctamente para una planificación eficaz de la vegetación costera.

Se ha reportado que una brecha abierta en un bosque (es decir, un camino, río, la diferencia en la elevación, etc.) puede canalizar y amplificar una fuerte corriente en dicho espacio. Restos flotantes de los árboles quebrados también pueden dañar viviendas y personas. Sin embargo, estudios han revelado que estas desventajas pueden superarse con una adecuada planificación y manejo de los bosques costeros, y que la vegetación costera tiene un gran potencial para mitigar los daños en construcciones y salvar vidas humanas, actuando como zonas de amortiguamiento de los eventos naturales extremos.

La Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2007) de las Naciones Unidas (2007) afirma que se requiere de un manejo forestal activo para producir esta diversidad de edades de los árboles con un rango de tamaños en todos los niveles para aumentar el potencial de mitigación, ya que este disminuye en el caso del *Pinus spp.* y *Casuarina spp.* con la edad, debido a la mortalidad natural (auto-raleo) que disminuye la densidad, y debido a que la altura de la copa sobrepasa la altura del agua de un tsunami por su poda natural. Además, se recomienda una combinación de diferentes especies de árboles en un bosque de protección (Tanaka *et al.*, 2007, 2008b, 2009).

El diámetro del árbol y el efecto de la densidad, son parámetros muy importantes para la estimación del arrastre, por lo que se sugiere no ser analizados de manera independiente. Danielsen *et al.* (2005) informaron que bosques de *Rhizophora spp.* (manglar colorado) y *Avicennia spp.* (con una densidad de 14 a 26 árboles por cada 100 m<sup>2</sup>) contribuyó a disminuir el daño en el 96% de los casos estudiados en la India. Pueblos expuestos sufrieron los mayores niveles de daño, y los que estaban detrás de los manglares experimentaron niveles intermedios de daños.

Similares resultados obtuvieron Hiraishi y Harada (2003), quienes llevaron a cabo experimentos basadas en el tsunami de 1998 en Papua Nueva Guinea para estimar la atenuación de la energía del tsunami por los manglares. La respuesta del modelo propuesto fue una reducción de más del 90% de la presión máxima del flujo del tsunami por un cinturón forestal de 100 metros de ancho cuando la densidad de los árboles es muy alta (30 árboles por cada 100 m<sup>2</sup>). A su vez, Gallear *et al.* (2010) apoyan la hipótesis de que un bosque costero denso con una anchura de al menos 50 metros y una densidad de 1.000 árboles por hectárea puede proporcionar una cierta protección a las estructuras inundadas por un tsunami.

Mazda *et al.* (2006) concluyeron en forma similar, que la energía de las olas se redujo en un 50% dentro de los 100 metros en los bosques de Sonneratia.

Estos estudios enfocados en el diseño de los bosques costeros como un elemento de los planes de mitigación de daños por efectos de eventos marinos, han coincidido en ciertos aspectos. Tanaka *et al.* (2007) lo confirman al señalar que al tener en cuenta las características de algunas especies de árboles establecidos como bosques costeros, es posible proponer lo siguiente:

- a. *Una estructura horizontal de bosques mixtos, que incluyen árboles de pequeño y gran diámetro, con una población densa de árboles de pequeño diámetro ( $d > 10\text{cm}$  para soportar un tsunami de al menos 5 m de altura?), podría reducir la velocidad de la corriente del tsunami, mientras que árboles de gran diámetro ( $d > 30\text{ cm}$ ) podrían atrapar ramas quebradas y escombros.*
- b. *Dos capas de vegetación densa*
- c. *Árboles de hojas anchas detrás de la vegetación densa; de ellos se puede esperar que atrapen escombros y para ayudar a personas a escapar, trepar y tener caídas suaves.*

Estas medidas, deben ser complementarias a otras planificadas e implementadas por las entidades responsables, las que incluyen desde planes de evacuación hasta la construcción de obras de envergadura.

Como se ha señalado, estas barreras se establecen cerca de las altas mareas, como una protección continua y sin agujeros, protegiendo a poblados de las inundaciones y los tsunamis, con un equilibrio entre la necesidad de protección y los recursos utilizados, lo que se complementa con obras de mayor envergadura (rompeolas, diques, etc.). La Figura 1 y 2 siguientes, muestran el efecto luego del tsunami, comparando daños en sectores de árboles y sin ellos.

En ambas figuras, una nacional y otra de Japón, es posible observar como disminuyen los efectos dañinos del tsunami por la presencia de una muralla vegetal frente a la costa protegiendo las viviendas o instalaciones.

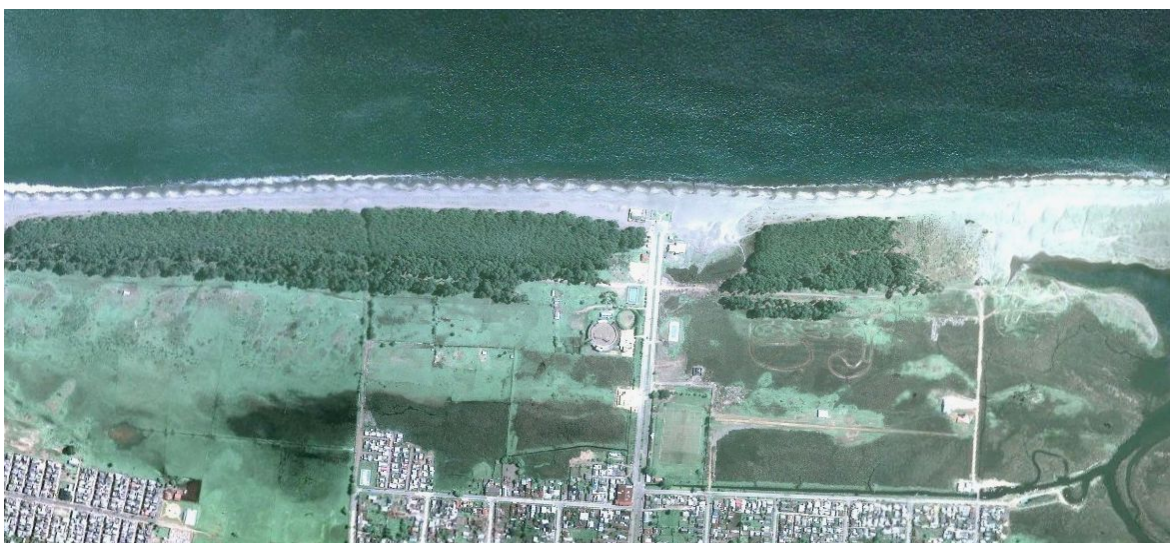


Figura 1: Arauco, VIII Región  
(Fuente: Intendencia Región del Bio Bio)

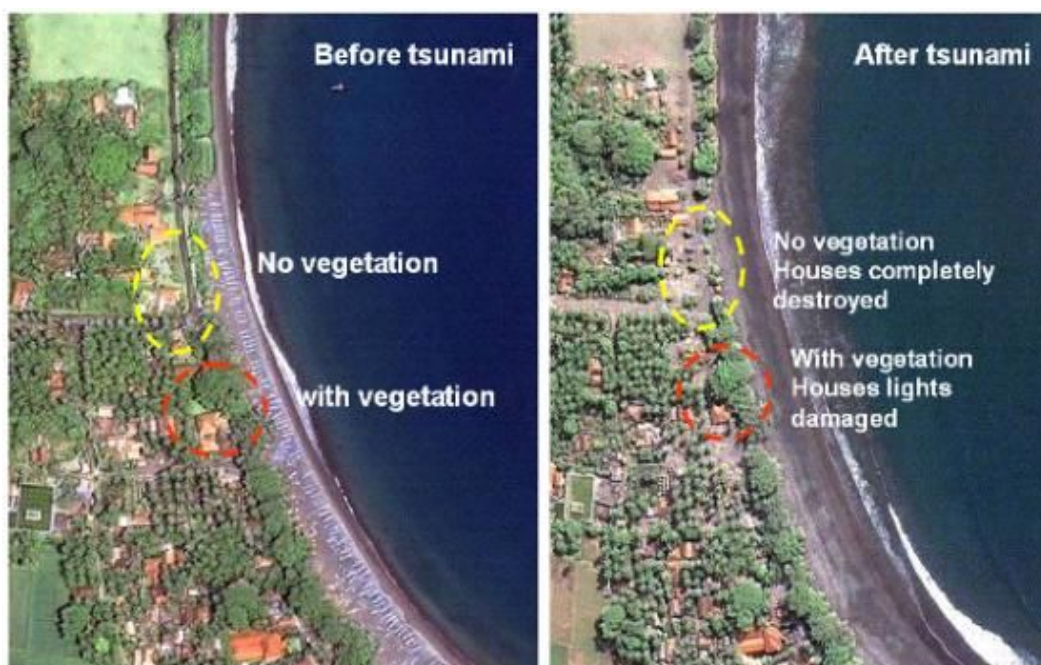


Figura 2. Imágenes antes y después del Tsunami del Oeste de Java en el año 2006, que muestran cómo la vegetación redujo el impacto del Tsunami en la playa de Pangandaran (Fuente: Hamzah Latief1 y Safwan Hadi, The role of forests and trees in protecting coastal areas against tsunamis. <http://www.fao.org/docrep/010/ag127e/AG127E06.htm>)

Existe una fuerte relación entre los principales problemas de erosión costera y la degradación de la función protectora de los sistemas costeros, como los bosques y árboles costeros. Se ha señalado que una investigación más científica y cuantificación de los procesos físicos y la interacción dinámica del sistema se requiere para entender cómo y bajo qué circunstancias la vegetación costera puede mitigar los daños frente a eventuales eventos marinos. Varios esfuerzos se han centrado en observaciones de campo, experimentos de laboratorio y de modelos numéricos y el análisis teórico (Figura 3) (Wolanski 1992; Mazda *et al.*, 1997; Massel *et al.*, 1999).

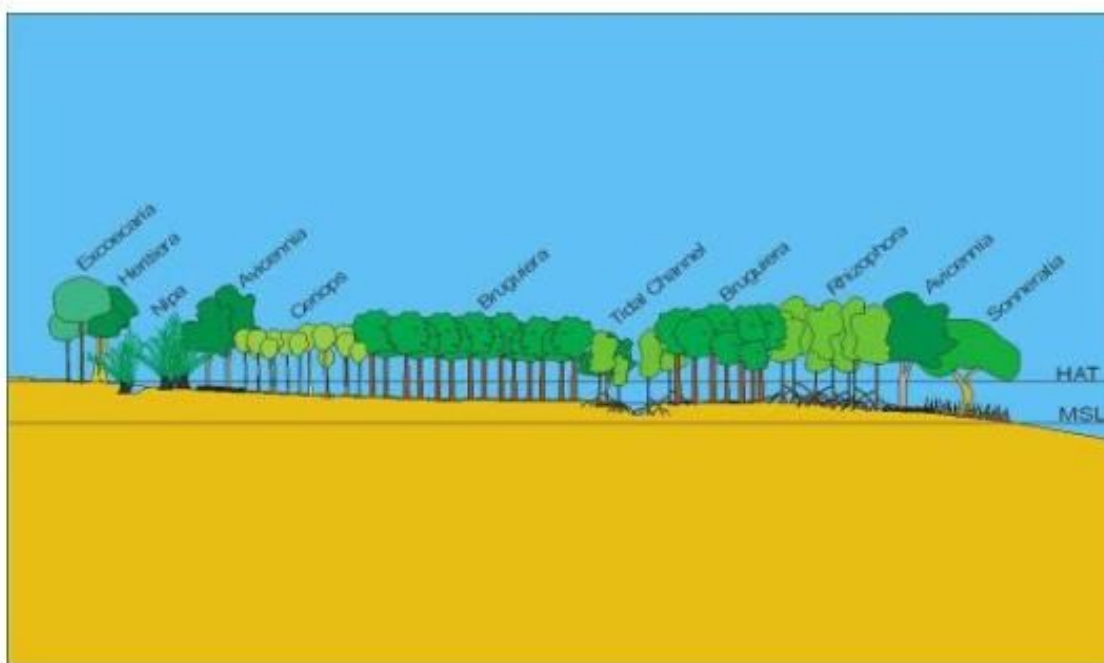


Figura 3. Patrones de zonificación para Manglares en Sumatra (Whitten *et al.*, 2000)

En algunos casos, la reforestación en un ambiente de baja energía es necesaria debido a la deforestación de los bosques ribereños, producto de la acción humana, lo que provoca la exposición directa a la acción del oleaje. También hay una necesidad de establecer diques en alta mar como estructuras temporales de protección para la vegetación. Una vez que las plantas se han establecido, las estructuras se pueden quitar.

Algunas aldeas en la India presentaron bajos daños en el tsunami de 2004 porque habían plantado árboles a lo largo de la costa. El pueblo de Nalvedapathy, por ejemplo, estaba protegido por un kilómetro de árboles y no sufrió ningún daño directo del tsunami.

Prasetya (2006) en el reporte de FAO (2007), hace mención al rol de los bosques costeros y los árboles en la protección contra la erosión costera y daños por marejadas o tsunamis. Prasetya (2006) menciona que en las costas clasificadas como de suelos cohesivos, común en estuarios, y donde pueden existir los fenómenos extremos como las tormentas y los tsunamis (Figura 4), la cubierta vegetal juega un papel *importante en la protección de la costa y de las inundaciones mediante la reducción de altura de las olas y la energía y la desaceleración del flujo de la velocidad del tsunami, por lo que las fuerzas erosivas y la distancia de inundación se reducen.*

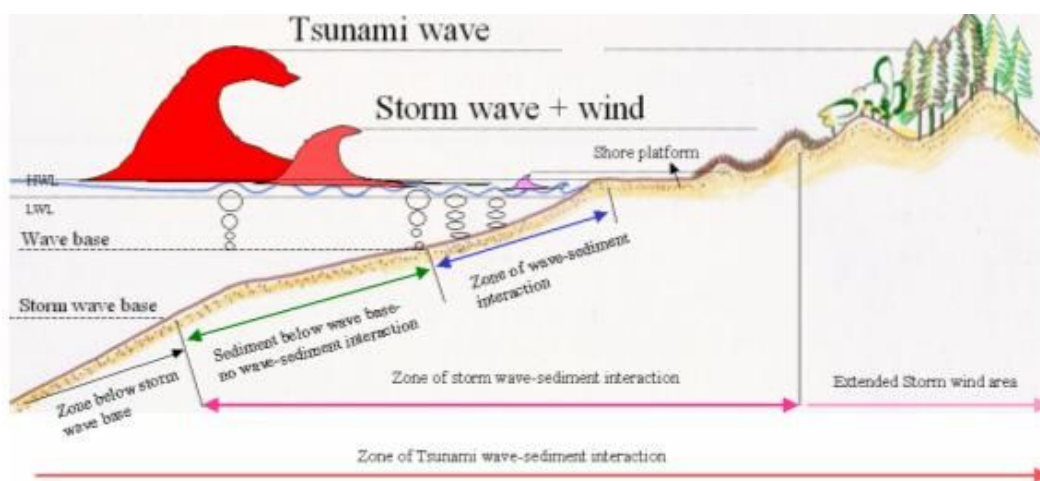


Figura 4. Costa con suelos del tipo cohesivos (común en estuarios), donde la cubierta vegetal permite reducir la altura de las olas y la energía del tsunami (Prasetya (2006) en FAO, 2007)

El mismo autor señala que en las costas de tipo intermareales, que se caracteriza por depósitos sedimentarios de grano fino, predominantemente limo y arcilla que vienen de los ríos, con suave pendiente hacia el mar amplio (Figura 5.), durante las tormentas, los bosques y árboles costeros pueden servir como barreras y reducir la altura de ola de tormenta, así como que ofrecer cierta protección a la zona detrás de ellos.

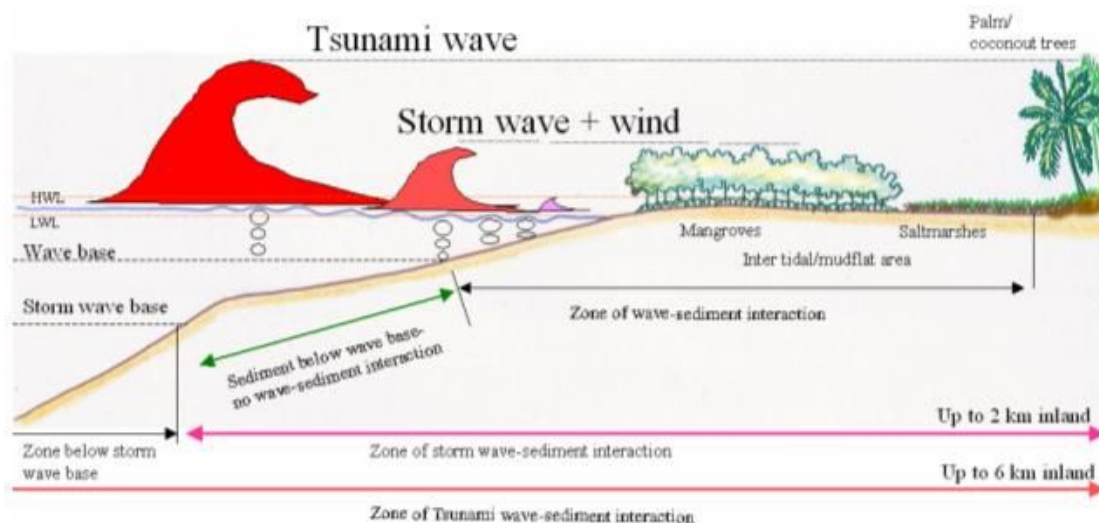


Figura 5. Perfil de un costa del tipo fangosas intermareales donde los bosques y árboles costeros pueden servir como barreras y reducir la altura de ola (Prasetya (2006) en FAO, 2007)

Otro tipo de costa que escribe Prasetya (2006) en el reporte de FAO (2007), corresponde a las que cuentan con presencia de dunas, se componen de materiales no consolidados, principalmente de arena, algunas piedras y conchas, que puede ser clasificado como una costa suave. Tiene una pendiente suave hacia el mar, playas disipativas que tienen arena fina amplia y poco a poco empinada. Su perfil depende de la forma de onda y la energía y dirección del viento.

La reconstrucción de la cubierta vegetal de las dunas de arena cuando ellas las pierden por procesos erosivos o de otro tipo, mejora la estabilidad de las laderas y consolida la arena. Las dunas de arena y su cubierta vegetal son las mejores medidas de protección natural contra las inundaciones costeras y la inundación del tsunami (Prasetya (2006) en el reporte de FAO (2007).

En las costas que se componen de materiales no consolidados, principalmente de arena de los ríos y promontorios erosionados, la pendiente de la playa varía desde suave a las pendientes empinadas, en función de la intensidad de las fuerzas naturales (principalmente las ondas) que actúan sobre ellos. Los bosques son comunes aquí y durante los eventos extremos (Figura 6), los árboles protegen las costas, en cierta medida por la reducción de altura de las olas y la energía, así como la erosión costera grave.

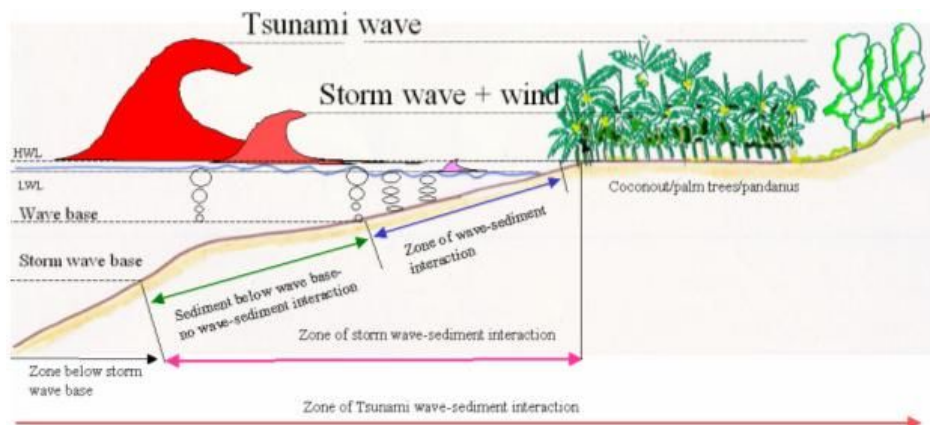


Figura 6. Costa del tipo arenosa donde la presencia de un bosque permite mitigar el efecto de las olas y el viento (Prasetya (2006) en FAO, 2007)

Con base en estudios y los resultados científicos, la presencia de vegetación en las zonas costeras mejora la estabilidad de taludes, consolida los sedimentos y reduce la energía de las olas en movimiento en tierra, por lo que protege la costa de la erosión. En algunos casos, la revegetación falla porque las condiciones ambientales no favorecen el crecimiento de las especies en el sitio en particular o si hay ignorancia en cuanto a cómo se planta bien de las mismas condiciones.

Un punto importante a señalar es que los propósitos de la creación de cinturones verdes costeros no deben ser únicamente para la prevención de la erosión costera y la mitigación de peligros naturales de otros, sino también para abordar la situación socio-económica de las comunidades locales, así como la sostenibilidad ecológica.

Los propósitos de la presencia de bosques costeros deben servir también para:

- Controlar, estabilizar y retener los sedimentos y la consolidación de tierras para áreas tales como marismas intermareales con los cinturones verdes y las costas de arena fina con diferentes especies vegetales, arboles, arbustos, herbáceas, según zonas agroecológicas;
- Ofrecer un atractivo y una fuente de alimentos, materiales y de ingresos para las comunidades locales, y
- Favorecer la biodiversidad y crear corredores de hábitat para la fauna que se puede utilizar para actividades de conservación y desarrollo del ecoturismo.

En general, los conceptos subyacentes a la creación de zonas verdes o zonas de amortiguamiento, según Clark (1996) son:

- La silvicultura social: Esta no debe ser considerado como una fuente de ingresos, sino para apoyar el desarrollo de los medios de subsistencia sostenibles entre la comunidad costera.
- Ecodesarrollo: Esto es beneficioso para las actividades de conservación, las oportunidades educativas y recreativas.
- La planificación participativa, implementación y seguimiento: El conocimiento indígena y/o de las comunidades locales deben ser utilizados en la toma de decisiones por lo que recibir los beneficios directamente.

La selección de la vegetación para la creación del cinturón verde o zona de amortiguamiento debe tener en cuenta la función natural de protección del sistema costero, como se ilustra en la Figura 7.

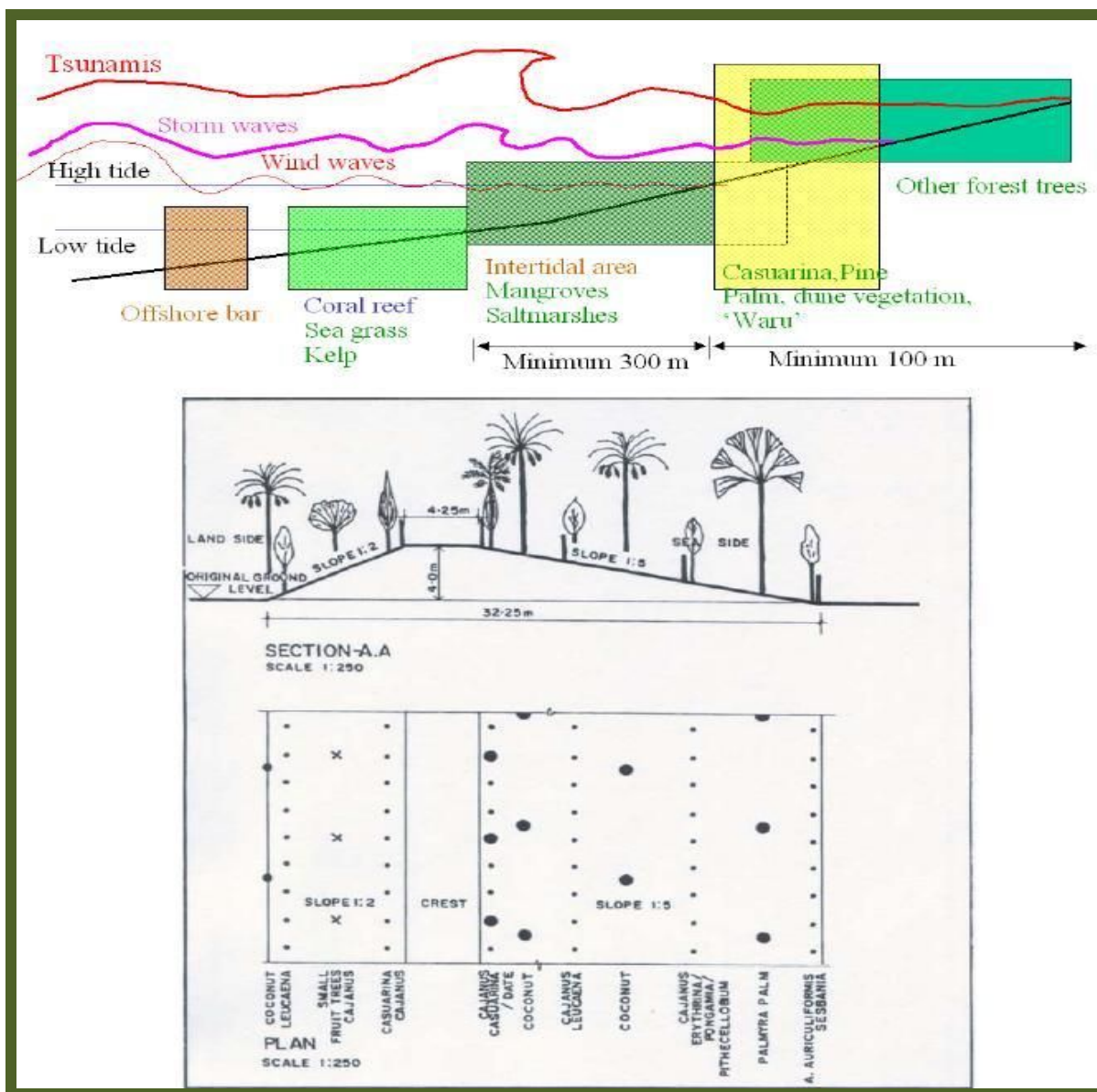


Figura 7. Las funciones protectoras naturales de los bosques y árboles costeros combinando diferentes tipos de árboles, incluyendo árboles frutales, que benefician a las comunidades locales (Clark, 1995 citado por Latief y Hadi (2006) en FAO (2007))

Se debe analizar la línea costera para el establecimiento de la vegetación que se encuentra de forma local en cada tipo de costa. En la mayoría de los casos la anchura de la zona de amortiguamiento para los rangos del delta del intermareal es entre 300 y 500 metros, dependiendo de la pendiente de la región. Luego se debe seleccionar la vegetación de playa que se encuentra de forma local en cada tipo de costa. La anchura de la zona de amortiguamiento debería tener un mínimo de 100 metros para el área plana, incluso con dunas de arena o terraplenes costeros.

Como ejemplo en Hawai se adoptó una política de crear un bosque de mitigación a lo largo de la costa Keaukaha, planificando un escudo arbóreo con múltiples propósitos, proporcionando protección contra las tormentas recurrentes y tsunamis (Preuss (2006) en FAO (2007)).

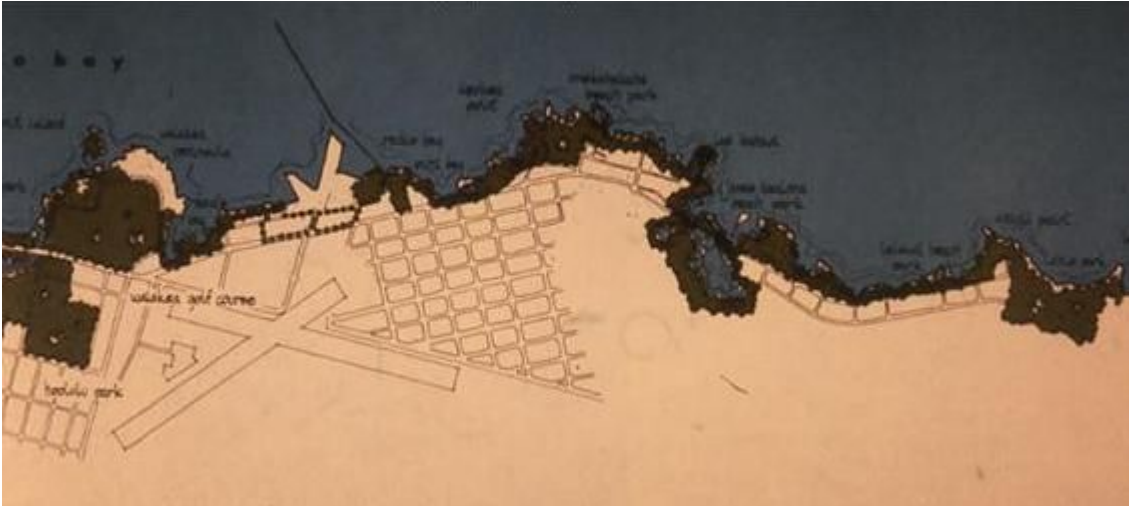


Figura 8. Área de Planificación con integración de un cinturón de bosques a lo largo de la costa Keaukaha, Hawai (Preuss (2006) en FAO (2007)).

Según Wolanski (2007), los bosques costeros se deben crear o restaurar para mejorar la capacidad de los estuarios y aguas costeras y proporcionar servicios ecológicos a la población humana que viven en sus orillas, así como para proteger la costa de daños por el viento, la sal, la erosión costera, los tifones, e incluso para salvar vidas humanas durante un tsunami. Este autor señala que estos escudos no pueden proporcionar una protección completa, sino que deben ser parte del plan regional para reducir el riesgo de pérdida de vidas, bienes e infraestructura a un nivel aceptable. La elección adecuada de la vegetación depende de la gravedad de los peligros naturales, la batimetría y el clima, el uso de la tierra local, y las opciones disponibles para sobrevivir a los eventos extremos.

El mismo autor señala que la solución para proteger la costa contra los peligros naturales no es sólo local, sino que también la vegetación se debe utilizar para proteger a la población costera de deslizamientos de tierra en las zonas de montaña y a lo largo de las orillas del río.

FAO (2007) entrega algunos antecedentes acerca del rol de los bosques en las zonas costeras, señalando que estos pueden, bajo ciertas condiciones, actuar como escudos protectores de la vida y valiosos activos contra los peligros costeros, entre ellos: los tsunamis, los ciclones, el viento y la niebla salina y la erosión costera. También agrega que el grado de protección ofrecido por estas barreras costeras dependerá de las características del peligro, de las características del sitio (batimetría, geomorfología costera) y de las características propias del bosque costero (tipo de bosque / árbol, ancho, altura y densidad del bosque).

FAO (2007) también advierte que se debe tener cuidado en evitar hacer generalizaciones acerca de la función protectora de los bosques y los árboles basada en la evidencia de una o unas pocas áreas, los muchos factores que influyen en la función protectora de los bosques y árboles deben ser comprendidos y tomados en consideración antes de ser aplicadas en otros lugares.

En sus conclusiones FAO (2007) agrega que los bosques costeros no son capaces de proporcionar una protección eficaz contra todo tipo de riesgos, como las grandes olas de un tsunami extremo y que otras formas de protección deben ser consideradas, teniendo cuidado de no crear una falsa sensación de protección frente a amenazas costeras.

En su reporte FAO señala que es reconocida la importancia de la incorporación de la protección costera como parte integral de la planificación de las zonas costeras, y que las opciones de protección requieren de una combinación de ellas. Si ninguna de estas son apropiados y viables, puede ser necesario evitar el uso de la tierra de las zonas costeras con asentamientos y la construcción de activos valiosos en la zona vulnerable.

Sobre la composición de estos bosques FAO recalca y recuerda que es importante que coincidan las especies con el sitio con el fin de evitar la mortalidad de alta y baja el rendimiento de los árboles plantados. Algunos tipos de bosques y especies de árboles no pueden sobrevivir o prosperar en áreas expuestas a determinados riesgos costeros, por lo tanto no serán candidatos para la protección medidas. El desarrollo de estos escudos no es posible en todas las situaciones debido a las limitaciones biológicas, el espacio limitaciones, la incompatibilidad con la tierra usos prioritarios, los costos prohibitivos, etc.

Finalmente, el documento de FAO indica que el nivel de conocimiento y comprensión de las funciones de los bosques y los árboles en la zona costera y su rol de protección sigue siendo insuficiente y que existe un déficit de investigación interdisciplinaria y la cooperación en este campo. Las áreas específicas que necesitan mayor atención incluyen la investigación en la costa del comportamiento de los bosques, la colecta de datos y el desarrollo de modelos sobre la interacción entre lo físico y parámetros ecológicos.

Furokawa<sup>1</sup> menciona que los bosques de manglares reducen la energía del oleaje por la interacción con el movimiento orbital de las partículas de agua y las raíces complejas, y que no se cuenta con normas de diseño ya que la situación varía según el lugar.

En forma resumida Furokawa señala que el ancho de diseño típico de los bosques debe ser varias veces mayor que la longitud de onda de espera (100-1000m), y que las especies plantadas deben tener suficiente densidad y una adecuada altura de elevación (por ejemplo, *Ceriops sp*, *Sonneratia*, *Rhizophora sp*). La silvicultura (gestión) de los bosques también es importante para que la estructura permanezca sana (mantener la circulación del agua, algunas veces para ayudar a las plantaciones de reforestación después del daño).

Reitera que algo muy importante es la participación de la población local en el proyecto. La educación y el conocimiento acerca de las funciones de los bosques son primordiales y los conocimientos sobre tsunamis y la evacuación de procedimiento en el caso debe ser compartida.

---

<sup>1</sup> Keita Furukawa, 2011. (Dr. Eng.), Head of Marine Environment Division, National Institute for Land and Infrastructure Management, Japan. Comunicación personal.

Según Furtukawa e Hiraishi (2006) si se cuenta con las especies adecuadas, la densidad, y el ancho de un cinturón verde, mitigará los efectos del tsunami en el punto de vista micro y macro. Sin embargo, la condición cambiará de lugar en lugar y esto crea situaciones diferentes para los procesos de mitigación. Por lo tanto, el proceso de diseño con respecto a un modelo de proceso físico es muy recomendable.

Los estudios señalan un resultado de reducción de la velocidad con la zona del bosque, en la parte delantera y en la parte posterior, mitigando el flujo de los procesos de un tsunami de manera significativa. Además, la onda de presión en frente del bosque es más grande que sin la presencia de él, lo que significa que el bosque se convierte en una barrera para el flujo de tsunami, mediante la transformación de la energía cinética en energía potencial. La presión máxima del tsunami por detrás del bosque se redujo a la mitad en relación a una situación sin protección. Esto significa que el proceso se mitiga por la presencia del bosque en un punto de vista macro (en el más amplio ámbito de la escala de 100-1000m), mientras que el proceso de flujo se atenuó en un punto de vista micro (escala de 1-10m).

Según Prasetya (2006), en FAO (2007) los problemas sociales y ambientales causados por el efecto del agua sobre el borde costero son relevantes y fáciles de observar, con un alto impacto en infraestructura, productividad, empleos, turismo y zonas urbanas. El problema se agrava cuando las medidas de protección de la costa han sido mal diseñados, construidos y mantenidos, o cuando se establecen en lugares no apropiados, como delante de los hoteles o propiedades para proteger sus propias playas, lo que desprotege a la costa en general (Figura 9).



Figura 9. Esfuerzos de protección costera para proteger el turismo, y mientras tanto, la costa adyacente tiene una protección mínima (Prasetya (2006) en FAO (2007))

Estas "soluciones" crean más problemas que respuestas y las medidas de protección deben integrarse, teniendo en cuenta las condiciones socioeconómicas y los procesos naturales que existen en la región.

Existe consenso en que se debe crear conciencia entre el público a fin de garantizar una protección eficaz de sus hogares y negocios, la percepción pública de la seguridad es crítica. Durante el proceso de planificación, es frecuente que las personas señalen que se siente mucho más seguro detrás de un muro de hormigón que detrás de una playa y el bosque. En este contexto, una combinación de estructuras duras y blandas es aconsejable (Prasetya (2006), en FAO (2007)).

Clark (1995) reitera que durante la planificación es muy importante la participación de la comunidad en el uso de los bosques y árboles costeros como medidas de protección de la costa, junto con su ejecución y supervisión, dado que aumentará la conciencia y conocimiento sobre estas soluciones y los beneficios para el ecosistema y todos los interesados. Este autor señala que bosques que han sido integrados a diques costeros, utilizan una variedad de árboles que otorgan no sólo una protección contra posibles riesgos, sino que también ofrecen diversos beneficios como frutas, nueces, paja, coco, combustible y postes.

Este tipo de investigación científica sobre la forma en que la vegetación costera proporciona protección al litoral, ha coincidido en sus resultados a través de diversos autores (Sale, 1985; Kobayashi et al., 1993; Mazda *et al.*, 1997; Massel et al., 1999; francés, 2001; Blasco *et al.* 1994; Moller *et al.* 1999; Wu *et al.* 2001; Baas 2002; Jarvela 2002; Méndez y Losada 2004; Lee, 2005; Dean y Bender, 2006; Daidu et al., 2006; Moller, 2006; Turker *et al.* , 2006).

Estos han demostrado que los bosques y otros tipos de vegetación costera de cierta densidad pueden reducir considerablemente la altura de ola y proteger la costa contra la erosión, y que pueden servir como un sistema de defensa costera donde crecen en equilibrio con la erosión y la acumulación de procesos generados por las olas, los vientos y otras acciones naturales.

En base a estos estudios de campo, se ha determinado que en un evento mayor, la elevación de marea sube más rápido en la primera etapa de la marea y cae más lentamente en la fase posterior de reflujo debido a los efectos de la resistencia al flujo por la vegetación frondosa y el lodo del fondo.

Mazda *et al.* (1997) observaron los procesos físicos en los bosques en las zonas costeras de Thuy Hai y Truong Thuy, provincia de Binh Tailandia, Viet Nam, en el delta del Golfo de Tonkin. El tamaño de la onda disminuye considerablemente a través de áreas de bosques (manglares) más denso, y en las zonas de manglares bien desarrollados, los efectos sobre la reducción de la ola no disminuyen con la profundidad del agua cada vez mayor, lo que tiene importantes implicaciones prácticas.

Según la investigación, la eficacia de los manglares de altura (de tres a cuatro años de edad) en la reducción de altura de la ola por cada 100 metros se elevó al 20 por ciento y aumentó a 95 por ciento cuando los árboles tenían seis años de edad. A esta edad, un metro de altura de ola en la costa abierta se reducirá a 0,05 metros en la costa en comparación con 0,75 metros, sin manglares.

La altura de la vegetación y la densidad y la anchura de la zona a plantar son factores importantes en la reducción de altura de ola y la protección de la costa de la erosión. El efecto de la reducción de la onda es considerable, incluso cuando la profundidad del agua aumenta debido a la alta densidad de vegetación.

Mazda *et al.* (2002) también analiza la erosión costera causada por las fuerzas de marea en Loang Hoa, Viet Nam del Sur, que se encuentra en un amplio abanico aluvial y se encuentra entre dos grandes ríos de marea - la Mui Nai río y el río Nga Bay. Con base en estudios de campo y numéricos, se encontró que la degradación de los manglares a lo largo de los ríos de marea llevó a la intensificación de las corrientes de marea en la desembocadura de los ríos y la erosión en la costa.

Othman (1994) señala que una franja de 50 metros de ancho es suficiente para reducir las olas de un metro a una altura inferior a 0,3 metros. Señala que *Avicennia* (árbol de los manglares) es una especie pionera que desacelera corrientes a través de su sistema radicular, y junto con su tronco, atenúa la altura de las olas. Cuanto más cerca de los árboles son el uno al otro, mayor es la energía de las olas que se reducirá. Un crecimiento de cinco años de *Avicennia* puede servir como un atenuador de onda eficiente. En el área de estudio detrás de la zona con *Avicennia*, especies de *Rhizophora* y *Bruguiera* contribuyen a reducir la altura de las olas y su velocidad.

### 1.2 Experimentos de laboratorio modelo

La capacidad de los bosques para mitigar el impacto de un tsunami ha sido estudiada por diversos investigadores, los que señalan que ella puede ser estimada por modelos de dinámica de fluidos. Según lo expresan Latief y Hadi (2006) en FAO (2007), estos modelos examinan la relación hidrodinámica de un fluido en movimiento a través de la vegetación y requieren parámetros y coeficientes asociados a la estimación de la resistencia de los bosques a los tsunamis de diferentes alturas y presiones. Los antecedentes más importantes se refieren a la ocupación volumétrica y los coeficientes de resistencia, inercia y rugosidad. Estos son estimados a partir de mediciones del diámetro y la altura de los troncos de árbol, la altura y la densidad de la cubierta, y la densidad de árboles. La Figura 10 demuestra que la ocupación volumétrica es una función del volumen de agua en relación con el volumen de los árboles sumergidos. Una corriente de agua que golpea el tronco de un árbol y la transmisión de impacto y las fuerzas de fricción, junto con los coeficientes asociados a la inercia y arrastre, es representada en la figura.

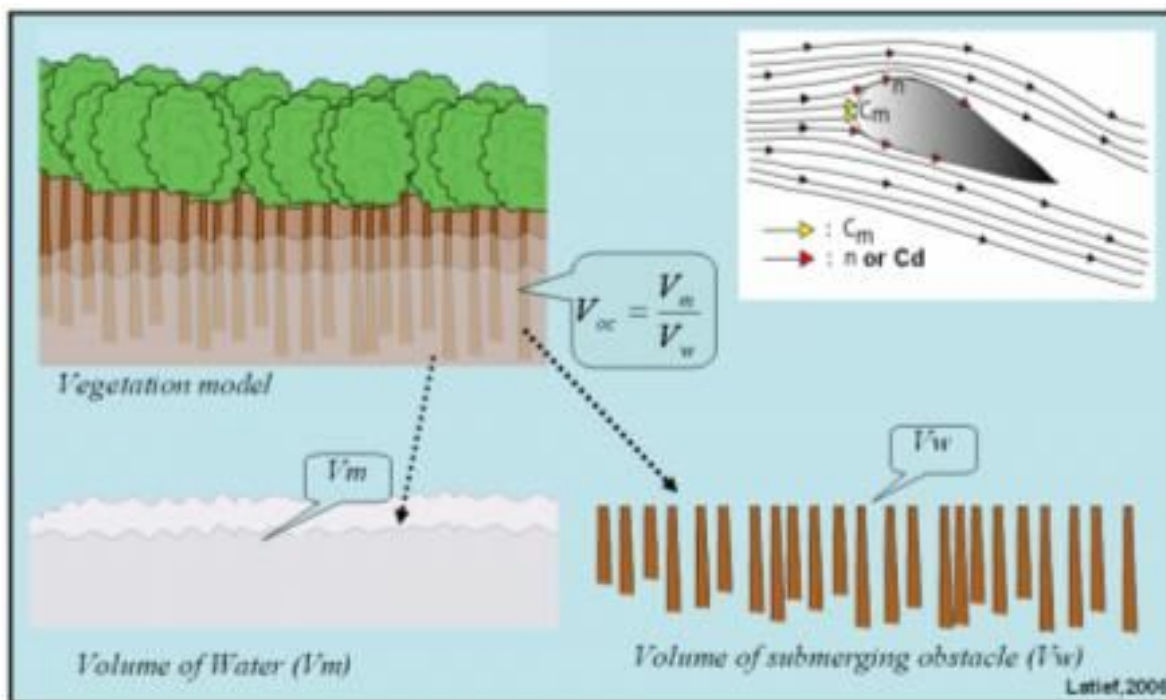


Figura 10. Cuantificación del volumen de agua modificado por la presencia de bosques en el área costera (Latief y Hadi (2006) en FAO (2007)).

El entorno de laboratorio controlado permite la medición de parámetros de las ondas que no son fácilmente mensurables en las condiciones naturales. Coops *et al.* (1996) realizaron un estudio experimental en un tanque de oleaje para evaluar la interacción entre las olas, erosión de las orillas y la vegetación emergente. Utilizaron dos especies *Phragmites australis* (Cav.) Trin ex Steudel y *Scirpus lacustris* L., y dos tipos de sedimentos (arena y arena limosa) en un tanque de oleaje. Sus resultados mostraron que la menor erosión neta se midió en la zona cubiertas por la vegetación que en el área donde no había vegetación. La atenuación de mayor oleada se midió en la vegetación plenamente desarrollada de las dos especies.

Struve *et al.* (2003) combinó experimentos de laboratorio (en canal de oleaje) y un modelo numérico de dos dimensiones (2-D) para investigar la rugosidad adicional debido a la vegetación como un factor importante para influir en la velocidad del agua y los niveles en los estuarios de manglar.

El efecto de variar el diámetro del tallo y la densidad fueron probados y también se analizaron modelos lineales de distribución de los árboles. Los resultados del estudio mostraron que el cambio de velocidad a lo largo del canal de flujo está relacionada con la superficie de los árboles modelo. Una comparación entre la distribución del modelo de árbol escalonada y lineal indicó que el sistema tuvo un efecto basado en el tamaño y la interferencia de la onda.

Turker *et al.* (2006) examinaron un cambio de perfil de playa bajo la protección de la vegetación emergente (*Phragmites australis* sin hojas) a través de diversas condiciones de las olas en un laboratorio. Los hallazgos mostraron que la vegetación emergente es un elemento relevante para la protección de playas, que tiende a minimizar la erosión e incluso lleva a cero la erosión.

El área de vegetación absorbe energía de las olas considerables debido a la fricción y la fuerza de arrastre, el análisis experimental indicó que la cantidad de erosión es directamente proporcional a la altura de las olas, e inversamente proporcional a las partículas de sedimento y la densidad de la vegetación.

### 1.3 Modelo numérico y analítico de estudios

Massel *et al.* (1999) utilizaron un enfoque teórico para predecir la atenuación en el oleaje irregular en la superficie de bosque. La geometría de los troncos de manglar y su ubicación fueron tomadas en cuenta, mientras que la interacción entre los troncos y las raíces de mangle se utilizó a través de la modificación de los coeficientes de arrastre. Ejemplos de cálculos numéricos basados en observaciones de la atenuación de ondas a través del bosque de manglar, demostraron que la tasa resultante de atenuación de energía de las olas depende en gran medida de la densidad del bosque, el diámetro de las raíces y los troncos.

Con una densidad muy baja de los árboles y las características del oleaje mismo, la energía de las olas se transmite con relativa facilidad a través del bosque de manglar, sin embargo, aproximadamente el 86% de la energía sigue siendo disipada por el bosque. Las observaciones de campo (Figura 11) muestran casi los mismos resultados sobre cómo los bosques pueden atenuar las ondas de manera significativa a una distancia relativamente corta. La energía de las olas se reduce en un 75% a través de 250 metros de los árboles.

Se reconoce la necesidad de analizar otros bosques y árboles costeros como *Pandanus*, *Casuarina* y especies de *Pinos*, que no interactúan directamente con las olas en condiciones normales, pero lo hacen durante los eventos extremos como grandes tormentas y tsunamis. El conocimiento actual es suficiente para obtener una orientación general sobre la función protectora del bosque ribereño en la lucha contra la erosión costera. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la eficacia de cada especie en la protección de la costa de la erosión es muy específica del sitio.

En las zonas donde hay turismo, se ha señalado que se debe fomentar la plantación de árboles en una banda que se extienda prácticamente ininterrumpido a lo largo de toda la costa. Esta banda de árboles tendrá un efecto positivo sobre el turismo también, porque añade a la belleza natural de las áreas y proporciona sombra.<sup>2</sup>

Por otro lado, se han realizado esfuerzos a gran escala para plantar cinturones de árboles exóticos en las costas expuestas con la esperanza de proteger a las personas de futuros tsunamis o tormentas producidas durante las tormentas tropicales, como el huracán Katrina o el ciclón Nargis, concluyendo que existe evidencia de que la vegetación costera ofrece una protección significativa de estos eventos, debiendo eso sí, cuidar que la plantación introducida con árboles exóticos, "bioshields", no cause un daño ambiental. Igualmente se señala que estas medidas se deben asociar a la educación, la alerta temprana y planes de evacuación<sup>3</sup>, recordando que los bosques pueden disminuir las inundaciones, pero no evitarla.

---

<sup>2</sup> <http://web.mit.edu/12.000/www/m2009/teams/2/rz.htm>

<sup>3</sup> [http://www.redorbit.com/news/science/1803247/coastal\\_trees\\_poor\\_protection\\_against\\_tsunamis](http://www.redorbit.com/news/science/1803247/coastal_trees_poor_protection_against_tsunamis)

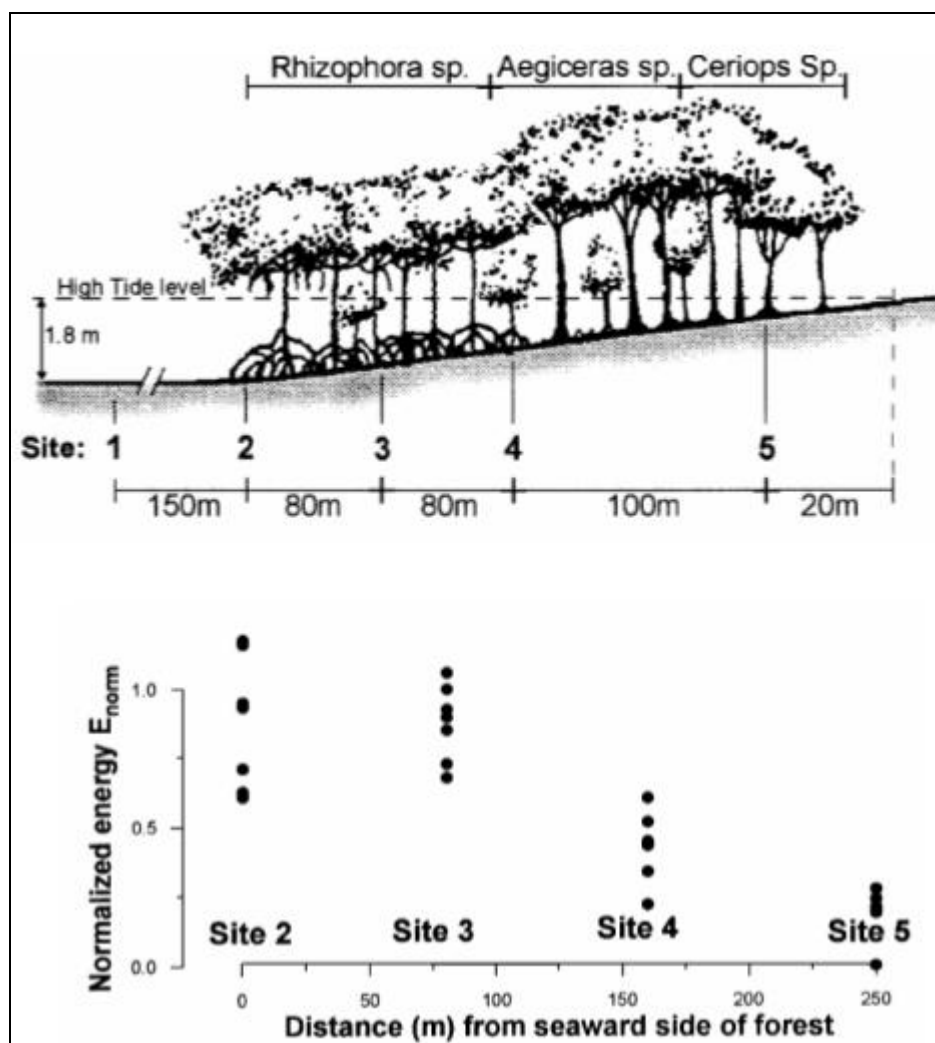


Figura 11. Atenuación de la onda por un bosque de mangle (*Rhizophora sp.*, *Aegiceras sp.*, *Ceriops sp.*). Las mediciones en los sitios 2-5 muestran la disminución de la transmisión de ondas de energía a través del bosque de Manglar (Massel *et al.*, 1999; citado en FAO (2007))

#### 1.4 Comentarios sobre el rol protector de los bosques costeros y su aplicabilidad en Chile

Cifras recientes derivadas del tsunami de febrero del 2010 en Chile estiman en cerca de US\$298 millones para invertir sólo en la ciudad de Talcahuano y cerca de US\$171 millones para reconstruir 18 localidades costeras de la Región del Bio Bio.

Ello significa incurrir en montos elevados para reparación y reconstrucción, asociado a pérdidas de ingresos que pueden percibir actores deprimidos de sectores costeros entre la VII y VIII Región.

La instalación de adecuadas y validadas Barreras Vegetales, es decir bosques y parques de mitigación, específicas para cada localidad, en conjunto con otras medidas de mitigación que se pueden abordar en forma conjunta como elemento de disminución de daños, podrían disminuir en un importante porcentaje los impactos de las olas en un evento marino.

Los estudios analizados coinciden en la utilidad de este tipo de estructuras y de la necesidad de ser utilizadas en conjunto con otras obras de mitigación, haciendo partícipe a la comunidad local en su importancia, uso y cuidados.

La investigación en Chile aún no aborda este componente y en especial, las especies más indicadas para su uso en este tipo de estructura, existiendo alguna información o antecedentes en base a la experiencia o situaciones específicas localizadas, pero sin una investigación que apoye estas intervenciones.

Se requiere entonces a nivel regional y país, la investigación, adopción e incorporación de nuevas tecnologías con especies forestales adecuadas a cada sitio. Se debe además, fomentar y difundir las potencialidades basadas en las características propias de las especies; posibilidad de desarrollar actividades comerciales de producción conjunta (turismo), y posibilidad de obtener productos no madereros (frutos, flores y hongos).

## 2. PROPUESTA INICIAL DE ESPECIES PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL BOSQUE COSTERO

En nuestro país no existen documentos técnicos que indiquen el tipo de especies con las cuales se debe forestar para el establecimiento de murallas verdes. Por lo anterior, es que la siguiente propuesta se basa en especies probadas y aprobadas en el establecimiento de dunas (debido a la similitud de sitio). Teniendo en cuenta sus características físicas y morfológicas, se puede realizar un esquema de manejo el cual incluya la variación de especies; edades, diámetros y alturas distintas, con el fin de obtener una barrera lo mas cerrada posible, para una mayor y mejor protección.

De las revisiones realizadas se desprende que existirían especies forestales que una serie de autores recomiendan para su establecimiento en la costa. Los autores diferencian entre la línea frontal especies costeras y segundo nivel de especies, considerando que algunas especies no son tan resistentes a la niebla salina y la exposición, pero pueden tener un papel como protección.

Existe una amplia gama de opiniones sobre la categoría de especies siendo lo más recomendado el uso de manglares, los que lamentablemente no se adaptan a las condiciones locales en la costa del país.

En las especies a considerar, hay que tener en cuenta además, la propensión al ataque de insectos o enfermedades.

En Chile se está trabajando arduamente en el tema de la reconstrucción, con los llamados planes maestros los cuales incluyen parques de inundación y bosque de mitigación. Son muchos los proyectos que ya están en marcha en las localidades mayormente afectadas por el tsunami del 27 de febrero, como lo son Dichato (artículo de prensa, La Tercera, 2011), Puerto Saavedra (artículo de prensa, La tercera, 2011), Llico (GORE BIOBIO, 2011) y Constitución.

### 2.1 Especies potenciales

Ejemplos de posibles especies costeras con tolerancia a la sal (Ian Nicholas, 2011) se presentan en los siguientes cuadros:

Cuadro 1. Especies potenciales para su uso en bosques costeros

Especie	Tolerancia costera	Potencial Comercial
<i>Casuarina glauca</i>	****	***
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	***	***
<i>Eucalyptus botryoides</i>	****	****
<i>Eucalyptus pilularis</i>	***	****
<i>Eucalyptus leucoxylon</i>	***	****
<i>Cupressus macrocarpa</i>	****	****
<i>Metrosideros excelsa</i>	****	**
<i>Acacia melanoxylon</i>	**	****
<i>Pinus muricata</i>	***	***
<i>Pinus pinaster</i>	***	***

El mismo autor presenta un listado de árboles, arbustos y pastos recomendados para sitios costeros, los que se presentan en el Cuadro 2. Por su parte la Forestry Commission of New South Wales de Australia recomendó el año 1970 algunas especies para su uso en el borde costero, las cuales se presentan en el Cuadro 3.<sup>4</sup> Finalmente, en el Cuadro 4 se presenta un listado de especies para su uso en el borde costero con una función de protección (Pottinger 1981).

<sup>4</sup> Ian Nicholas, Consultor Forestal, New Zeland, Comunicación personal.

**Cuadro 2. Árboles, arbustos y pastos recomendados para sitios costeros (Matthews, 1905, citado por Nicholas 1993)**

Árboles	Arbustos	Pastos
<i>Acer pseudoplatanus</i> (Sycamore)	<i>Coprosma baueri</i>	<i>Arundo conspicua</i>
<i>Acacia pyracantha</i> (Golden wattle)	<i>Cytisus scoparius</i>	<i>Elymus arenarius</i>
<i>Alnus glutinosa</i> (Common alder)	<i>Eunonymus japonicus</i>	<i>Mesembryanthemum</i>
<i>Araucaria</i> (todas las especies)	<i>Escallonia macracantha</i>	<i>Phormium tenax</i>
<i>Corynocarpis laevigata</i>	<i>Hippophae rhamnoides</i>	<i>Psammna arenaria</i>
<i>Cordyline australis</i>	<i>Lavalera arborea</i>	
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> (Lawson cypress)	<i>Lycium afrum</i>	
<i>Cupressus macrocarpa</i> (Monterey cypress)	<i>Olearia aviceunifolia</i>	
<i>Casuarina quadrivalvis</i> (She, or swamp, oak)	<i>O. colensoi</i>	
<i>Griselinia littoralis</i> (Broadleaf)	<i>O. traversii</i>	
<i>Laburnum vulgare</i> (Laburnum)	<i>O. forsterii</i>	
<i>Myoporum laetum</i>	<i>Pittosporum</i>	
<i>Pinus austriaca</i>	<i>Plagianthus divercatus</i>	
<i>P. canariensis</i>	<i>Rhamnus frangula</i>	
<i>P. virginiana</i> (Scrub pine)	<i>Senecio huntii</i>	
<i>P. radiata</i> (Monterey pine)	<i>S. rotundifolius</i>	
<i>P. muricata</i> (Prickly-coned pine)	<i>S. muellerii</i>	
<i>P. rigida</i> (Pitch pine)	<i>Tamarix gallica</i>	
<i>P. halepensis</i> (Aleppo pine)	<i>Ulex europaeus</i>	
<i>P. laricio</i> (Corsican pine)	<i>Veronica elliptica</i>	
<i>P. pinaster</i> (Cluster pine)	<i>V. arborea</i>	
<i>P. cembra</i> (Stone pine)	<i>V. benthamii</i>	
<i>Populus</i> , most species (Poplar)	<i>V. liquustrifolia</i>	
<i>Pyrus aucuparia</i> (Rowan tree)	<i>V. macrocoura</i>	
<i>Quercus ilex</i> (Evergreen oak)	<i>V. salicifolia</i>	
<i>Q. stellata</i> (Post oak)		

Árboles	Arbustos	Pastos
<i>Salix</i> (Willows)		
<i>Thuja occidentalis</i> (Arborvitae)		
<i>Ulmus montana</i> (Scots elm)		

**Cuadro 3. Especies recomendadas por la Forestry Commission of New South Wales de Australia (1970).**

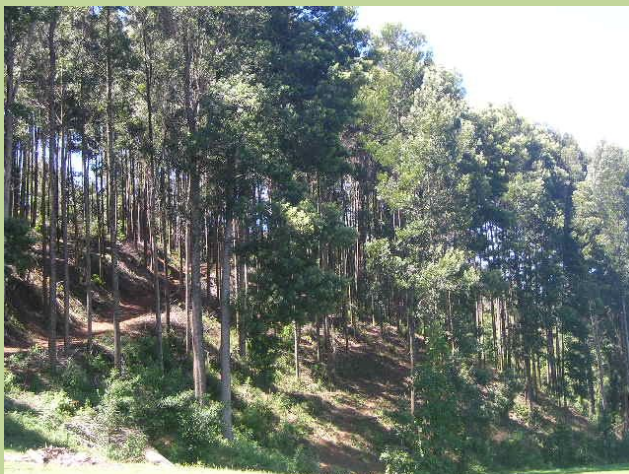
Espece	Altura (m) a los 10 años
<i>Acacia cyanophylla</i>	3
<i>A. longifolia</i>	6
<i>Albizia lophantha</i>	4
<i>Araucaria heterophylla</i> (A.excelsa)	30+
<i>Callistemon salignus</i>	5
<i>Casuarina distyla</i>	5
<i>C. incana</i>	9
<i>C. glauca</i>	18
<i>C. stricta</i>	6
<i>Elaeodendron australe</i>	12
<i>Eucalyptus botryoides</i>	18
<i>E. ficifolia</i> 'Guilfoyei'	9
<i>E. gummifera</i>	24
<i>E. leucoxylon</i> var. <i>macrocarpa</i> 'Pink)	9
<i>E. robusta</i>	18
<i>Hymenosporum flavum</i>	12
<i>Lagunaria patersonia</i>	9
<i>Leptospermum laevigatum</i>	3
<i>L. petersonii</i>	5
<i>Melaleuca halmaturorum</i>	3
<i>M. hypericifolia</i>	3
<i>M. pubescens</i>	6
<i>M. quinquenervia</i>	6
<i>Myoporum insulare</i>	5
<i>Pittosporum undulatum</i>	8
<i>Tristania laurina</i>	12
<i>Metrosideros excelsa</i>	9
<i>Pinus elliottii</i>	24
<i>Quercus ilex</i>	12

**Cuadro 4. Especies recomendadas para protección según grado de resistencia a la salinidad (Pottinger 1981).**

Especie	Altura al año 10 (m)
<b>Mayor Resistencia/tolerancia a la salinidad</b>	
<i>Atriplex</i> spp.	1-3
<i>Coprosma repens</i>	3
<i>Cortaderia selloana</i>	2
<i>Metrosideros species</i>	8-20
<i>M. excels</i>	20
<i>Myoporum serratum</i>	5
<i>Olearia traversii</i>	8
<i>Phormium tenax</i>	2-3
<i>Teucrium fruiticans</i>	2
<b>Tolerancia a la salinidad</b>	
<i>Araucaria excelsa</i>	10
<i>Banksia integrifolia</i>	10
<i>Buddleia salvifolia</i>	5
<i>Coroklia macrocarpa</i>	4
<i>Cupressus macrocarpa</i>	20
<i>C. macrocarpa</i>	8
<i>Cupressus sempervirens stricta</i>	8-10
<i>Cytisus proliferous</i>	5
<i>Eunonymus japonica</i>	2-5
<i>Griselinia littoralis</i>	3
<i>Lagunaria patersonii</i>	7
<i>Olearia albida</i>	5
<i>O. angulata</i>	5
<i>Pittosporum species</i>	3-8
<i>P. crassifolium</i>	8
<i>P. tenuifolium</i>	5
<i>Pomaderris apetala</i>	5
<i>Pseudopanax lessonii</i>	7



*Casuarina cunninghamiana*



*Acacia melanoxylon*



*Pinus pinaster*



Fotografía: Daniel Díaz



*Eucalyptus pilularis*



*Cupressus macrocarpa*

	<p><i>Araucaria excelsa</i></p>
	<p><i>Cupressus sempervirens stricta</i></p>

De las especies consultadas es posible presentar información para su descripción, siendo opciones potenciales para su estudio y utilización para el establecimiento de barreras vegetales en el borde costero de la VII y VIII Región. La información de estas especies potenciales se presenta en el siguiente cuadro

Cuadro 5. Características de algunas especies para el establecimiento de un bosque de protección.

ESPECIE	DESCRIPCIÓN
<i>Pinus radiata</i>	Es un árbol de fuste recto que puede alcanzar de 30 a 50 m de altura y diámetros de 1,5 m. El éxito de esta especie se debe a la rapidez de crecimiento en diferentes tipos de suelos y a la diversidad de usos de la madera.
<i>Eucalyptus globulus</i> :	Esta especie se recomienda para ser plantada en zonas costeras con más de 600 mm de precipitación y libres de heladas severas. La especie no soporta temperaturas inferiores a -4°C. Aún cuando puede sobrevivir en zonas con presencia de heladas, su tasa de crecimiento se ve fuertemente disminuida
<i>A. saligna</i>	Arbusto de copa abundante y densa de 2 a 5 m de altura, también se presenta como un árbol de hasta 8 m de altura con un solo fuste principal, alcanzando hasta 30 cm de diámetro. Es un árbol muy vigoroso, se adapta fácilmente en laderas deforestadas, tierras desiertas y lugares muy áridos. Muy resistente a la sequía y de rápido crecimiento. Entre los usos principales destacan: recuperación de sitios erosionados y terrenos baldíos, estabilización de dunas, cortinas cortavientos, forraje (seco como heno y fresco), goma (exudación de la corteza dañada) y como combustible
<i>Pinus canariensis</i>	Pocas son las especies que pueden cultivarse en el secano de la Región del Maule, especialmente en áreas donde los procesos de desertificación y deterioro del suelo han sido más intensos. Una especie que parece adaptarse a tales condiciones es <i>Pinus canariensis</i> C. Smith. (pino canario, pino tea), presente en las localidades de Chanco y Llico, donde fuera empleada en programas de contención de dunas.
<i>Cupressus macrocarpa</i>	El suelo debe poseer un drenaje de bueno a moderado, con textura arenosa a franco arcillo arenosa. Las temperaturas mínimas de crecimiento se encuentran entre 0-11 °C y las máximas entre 20-32 °C, la necesidad de precipitación está entre 700 -1.600 mm. El pH no es limitante en su crecimiento. Se encuentra entre los 500 a 3500 msnm, ubicándose de preferencia en la costa donde su estructura sufre deformidad por el viento.
<i>Pinus pinaster</i> Aiton	Árbol Que alcanza una altura de 20-35m, con una raíz central bien desarrollada y penetrante, así como las secundarias tienden a profundizar bastante. Crece en los terrenos sin cal o descalificados, sobretodo en los arenosos. Importante carácter protector como fijador de dunas, taludes y suelos pobres.
<i>Acacia melanoxylon</i>	A menudo es un árbol de 20 a 35 m de altura y diámetro de 0,5 m, especie caracterizada por ser invasora y fijadora de nitrógeno
<i>A longifolia</i>	Se cultiva como fijadora de dunas y es muy apreciada por sus floración muy perfumada durante el invierno. Crece muy rápidamente, alcanzando 7-10 m en 5-6 años. Es muy usado en áreas costeras sin muchas heladas fuertes.
<i>A. dealbata</i>	Se cultiva como fijador de terrenos y dunas. De crecimiento rápido con alturas que alcanzan los 10 y 12 metros de altura y una vida relativamente corta, por lo general no supera los 30 años de edad

FUENTE: San Martín *et al.*, 1992, citado por Rojas (2008).

### 3. COMENTARIOS FINALES

La erosión costera y la acumulación son procesos naturales, sin embargo, pueden convertirse en un problema cuando se ve agravada por la actividad humana o desastres naturales. Ellos están muy extendidas en la zona costera de Asia y otros países en el Océano Índico y Pacífico, debido a una combinación de diversas fuerzas de la naturaleza, el crecimiento demográfico y el desarrollo económico no administrado a lo largo de la costa, dentro de las cuencas fluviales y marítimas. Esto ha llevado a importantes esfuerzos para controlar la situación y restablecer la capacidad de la costa para dar cabida a cambios a corto y largo plazo inducidos por las actividades humanas, los fenómenos extremos y la elevación del nivel del mar. Comprender los procesos clave de la dinámica costera y cómo están funcionando las costas tanto en escalas de tiempo espacial y temporal (a corto y largo plazo), en yuxtaposición con las actividades humanas a lo largo de la costa, dentro de las cuencas fluviales y en alta mar es fundamental para la gestión de problemas de erosión costera.

Algunas conclusiones son posibles de extraer de la información recopilada en cuanto al rol que los bosques y árboles costeros pueden desempeñar en la lucha contra la erosión costera y mitigación de daños.

- Existe consenso en que este tipo de estructura proporcionan alguna protección del litoral y su extracción ha incrementado la vulnerabilidad de las costas.
- Con base en los hallazgos científicos, la presencia de vegetación en las zonas costeras mejora la estabilidad de taludes, la consolidación de los sedimentos y disminuye la cantidad de energía de las olas en movimiento en tierra, aumentando la protección de la costa.
- Se ha determinado que si el objetivo es reducir el movimiento hacia el interior y la velocidad de las ondas de un tsunami, una de las estrategias de manejo debe enfocarse en el conservar, o restablecer, la vegetación de las dunas de protección, la plantación de bosques del litoral, su inserción en las políticas de uso de la tierra.
- Existe un mayor interés en las opciones denominadas blandas (uso de los bosques y árboles costeros) para la protección costera, y se está convirtiendo en predominante, en consonancia con conocimientos avanzados sobre los procesos costeros y la función natural de protección del sistema costero. Esto se debe a que las opciones denominadas duras son en general satisfactorias en el corto plazo, mientras que las opciones blandas son eficaces en el medio a las perspectivas a largo plazo (de cinco a diez años).
- Una combinación de soluciones duras y blandas a veces es necesaria para mejorar la eficiencia de las opciones y para proporcionar un sistema ambientalmente y económicamente aceptable de protección costera.
- Se requiere a nivel país un proceso de investigación de la aplicabilidad de este tipo de barreras
- Se requiere de identificar las especies apropiadas para su uso en Chile en el establecimiento de las Barreras Vegetales, según las distintas situaciones que se presenten en el borde costero.
- Como protección contra los tsunamis, la investigación señala que como regla general, el bosque costero debe presentar una anchura de entre 200 a 500 metros, con una cobertura densa, entregando protección de vidas humanas frente a un tsunami no superior a cuatro metros de altura. Se reconoce además, que estos bosques no protegerán de la misma forma ante tsunamis más grandes. Por lo ello, la decisión de crear este tipo de estructura vegetal requiere necesariamente ser complemento de otro tipo de medidas, tales como alarmas de alerta temprana, educación ante riesgos y planes de evacuación, entre otros.

#### 4. REFERENCIAS

ARC. 2000. Auckland regional council, 2000. Technical Publication No. 130. Coastal Erosion Management Manual.

Baas, A.C.W. 2002. Chaos, fractals and self-organization in coastal geomorphology: simulating dune landscapes in vegetated environments. *Geomorphology*, 48: 309–328.

Bache D.H. & I.S. Macaskill. 1981. Vegetation in coastal and stream-bank protection. *Landscape Planning*, 8: 363–385.

Bird, E.C.F. & O.S.R.Ongkosongo. 1980. Environmental changes on the coast of Indonesia. NRTS-12/UNUP-197. Tokyo Japan, the United Nation University. 55 pp.

Black K.P. 1999. Submerged structures for coastal protection: A short summary of what they are, why we need them and how they work. Hamilton, New Zealand, Artificial Reefs Program. Centre of Excellence in Coastal Oceanography and Marine Geology Department of Earth Sciences, University of Waikato and National Institute of Water and Atmospheric Research. 9 pp.

Bilan, D. 1993. The preliminary vulnerability assessment of the Chinese coastal zone due to sea level rise. Proceedings of the IPCC eastern hemisphere workshop, Tsukuba, Japan 3–6 August 1993.

Blasco, F., Janodet, E. & M.F. Bellan. 1994. Natural hazards and mangroves in the Bay of Bengal. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No.12: 277–288.

Bray, J.M., Carter, D.J. & J.M. Littoral cell definition and budgets for central southern England. *Journal of Coastal Research*, 11(2): 381–400.

Bruun, P. 1972. The history and philosophy of coastal protection. Proc. 13th Coastal Engineering Conf. ASCE. New York. NY (1). pp 33–74.

Cat, N.N., Tien, P.H., Sam, D.D. & N.N. Bien. 2006. Status of coastal erosion of Viet Nam and proposed measures for protection. This volume (abstract).

Clark, J.R. 1995. Coastal zone management handbook. Lewis. 695 pp.

Chong, J. 2005. Protective values of mangroves and coral ecosystem: A review of methods and evidence. IUCN. G.V.

Coops, H., Geilen, N., Verheij, H.J., Boeters & van der Velde. 1996. Interaction between waves, bank erosion and emergent vegetation: an experimental study in a wave tank. *Aquatic Botany*, 53: 187–198.

Crowly, G.M. & M.K. Gagan. 1995. Holocene evolution of coastal wetland in wet-tropical northeastern Australia. *Holocene*, 5(4): 385–399.

- Daidu, F., Guo, Y., Wang, P. & J.Z. Shi. 2006. Cross-shore variations in morphodynamic processes of an open-coast mudflat in the Changjiang Delta, China: with an emphasis on storm impacts. *Continental Shelf Research*, 26: 517–538.
- Dean, R.G. & C.J. Bender. 2006. Static wave setup with emphasis on damping effects by vegetation and bottom friction. *Coastal engineering*, 53: 149–156.
- EuroSION. 2004. Living with coastal erosion in Europe: Sediment and space for sustainability. Part IV — a guide to coastal erosion management practices in Europe: lessons learned. 27 pp.
- Fan, D., Guo, Y., Wang, P. & J.Z. Shi. 2006. Cross-shore variations in morphodynamic processes of an open-coast mudflat in the Changjiang Delta, China: with an emphasis on storm impacts. *Continental Shelf Research*, 26: 517–538.
- FAO. 1998. Integrated coastal area management and agriculture, forestry and fisheries. FAO document repository, [www.fao.org](http://www.fao.org). PART C.
- FAO 2007. Proceedings of the Regional Technical Workshop Coastal protection in the aftermath of the Indian Ocean tsunami: What role for forests and trees?. Compiled and edited by Susan Braatz, Serena Fortuna, Jeremy Broadhead and Robin Leslie. Khao Lak, Thailand, 28–31 August 2006.
- French, P.W. 2001. Coastal defences: processes, problems & solutions. Florence, KY, USA, Routledge. <http://site.ebrary.com/>
- Furukawa, K. and Hiraishi, T. 2006. Overview of Physical Characteristics of the Wave-Mangrove Interaction. Proceedings of the international conference and exhibition on mangroves of Indian and western pacific oceans, 21 – 24 August 2006 Kuala Lumpur. p. 137-155
- Gallaher, T.; Kaufman, A.; Irvine, A. Towards. 2010. A tsunami bio-shield design for the Pacific: observations from Upolu, Samoa. University of Hawaii at Manoa.  
[http://www.pacificdisaster.net/pdnadmin/data/original/WSM\\_2010\\_Bioshield\\_Tsunami\\_poster.pdf](http://www.pacificdisaster.net/pdnadmin/data/original/WSM_2010_Bioshield_Tsunami_poster.pdf)
- Gopinath, G. & P. Seralathan. 2005. Rapid erosion of the coast of Sagar island, West Bengal – India. *Environment Geology*, 48: 1058–1067.
- Huq, S., Karim, Z., Asaduzzaman, M. & F. Mahtab (Eds.) 1999. Vulnerability and adaptation to climate change in Bangladesh. Dordrecht, the Netherlands, J. Kluwer Academic Publishers. 147 pp.
- Jarvela, J. 2002. Flow resistance of flexible and stiff vegetation: a flume study with natural plants. *Journal of Hydrology*, 269: 44–54.
- Kamphuis, J.W. 2002. Introduction to coastal engineering and management. Advance series in ocean engineering. World Scientific. 437 pp.
- Komar, P.D. 1998. Beach processes and sedimentation. Second edition. Prentice-Hall.
- Kobayashi, N., Raichle, A.W. & T. Asano. 1993. Wave attenuation by vegetation. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 119(1): 30–48.

- Kawata, Y. 1989. Methodology of beach erosion control and its application. *Coastal Engineering in Japan*, 32(1): 113–132.
- Kovacs, J.M. 2000. Perceptions of environmental change in a tropical coastal wetland. *Land Degradation & Development*, 11: 209–220.
- Lee, T.M. 2005. Monitoring the dynamics of coastal vegetation in Southwestern Taiwan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 111: 307–323.
- Malini, B.H. & K.N. Rao. 2004. Coastal erosion and habitat loss along the Godavari delta front – a fallout of dam construction (?). *Current Science*, 87 (9): 1232–126.
- Massel, S.R., Furukawa, K. & R.M. Brinkman. 1999. Surface wave propagation in mangrove forests. *Fluid Dynamics Research*, 24: 219–249.
- Mazda, Y., Magi, M., Nanao, H., Kogo, M., Miyagi, T., Kanazawa, N. & D. Kobashi. 2002. Coastal erosion due to long-term human impact on mangrove forests. *Wetlands Ecology and Management*, 10: 1–9.
- Mazda, Y., Wolanski, E., King, B., Sase, A., Ohtsuka, D. & M. Magi. 1997. Drag force due to vegetation in mangrove swamps. *Mangroves and Salt Marshes*, 1: 1993–1999.
- Mazda, Y., Magi, M., Kogo, M. & N.P. Hong. 1997. Mangroves as a coastal protection from waves in the Tong King delta, Viet Nam. *Mangroves and Salt Marshes*, 1: 127–135.
- Mendez, F.J. I.J. & Losada. 2004. An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields. *Coastal Engineering*, 51: 103–118.
- Moller, I., Spencer, T., French, J.R., Leggett, D.J. & M. Dixon. 1999. Wave transformation over salt marshes: A field and numerical modeling study from North Norfolk, England. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49: 411–426.
- Moller, I. 2006. Quantifying saltmarsh vegetation and its effect on wave height dissipation; results from a UK east coast saltmarsh. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, XX: 1–15.
- NRC. 1990. Managing coastal erosion. Committee on Coastal Erosion Zone Management, Water Science and Technology Board, Marine Board, Commission on Engineering and Technical System, National Research Council. Washington, DC, National Academy Press. 182 pp.
- Nurkin, B. 1994. Degradation of mangroves forest in South Sulawesi, Indonesia. *Hydrobiologia*, 285: 271–276.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS/OMS) 2010. El terremoto y tsunami del 27 de febrero en Chile. Crónica y lecciones aprendidas en el sector salud. Disponible en: <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc18151/doc18151-contenido.pdf>
- Othman, M.A. 1994. Value of mangroves in coastal protection. *Hydrobiologia*, 285: 277–282.

- Pottinger, B. 1981: Shelter recommended species for Coastal Farming Regions Aglink FPD390. Media services, MAF, Private Bag, Wellington
- Prasetya, G.S. & K.P. Black. 2003. Sanur and Kuta Beaches in Bali – case studies for replacing traditional coastal protection with offshore reef. Proceedings of Artificial Surfing Reef, 2003. Raglan, NZ.
- Sale, E.V. 1985. Forest on sand, the story of Aupouri state of forest. The New Zealand Forest Service.
- Samarayanke, R.A.D.B. 2003. Review of national fisheries situation in Sri Lanka. In: G. Silvestre, L. Garces, I. Stobutzki, M. Ahed, R.A. Valmonte-Santos, C. Luna, L. Lachica-Alino, P. Munro, V. Christense & D. Pauly (Eds.) Assessment, management and future direction of coastal fisheries in Asian countries, pp. 987–1012. WorldFish Center Conference Proceedings 67. 1120 pp.
- Sato, Y. & N. Mimura. 1997. Environmental problems and current management issues in the coastal zones of south and southeast Asian developing countries. *Journal of Global Environmental Engineering*, 3: 163–181.
- Struve, J., Falconer, R.A. & Y. Wu. 2003. Influence of model mangrove trees on the hydrodynamics in a flume. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58: 163–171.
- Swan, S.B.Stc. 1974. The coast erosion hazards southwest Sri Lanka: an introductory survey. University of New England. 182 pp.
- Swan, S.B.Stc. 1984. The coastal geomorphology of Sri Lanka. *New England Research in Applied Geography*, No. 40. 125 pp.
- Syamsudin, K. & F. Riandini. 2000. Coastline evolution monitoring at up drift and downdrift of some coastal structure in Indonesia. Proceedings Institut Teknologi Bandung on Seminar on Sediment Transport. Supplement 32, No.3. 2000, pp. 45–54.
- Tjardana, P. 1995. Indonesian mangroves forest. Duta Rimba, Jakarta.
- Thampanya, U., Vermaat, J.E., Sinsakul, S. & N. Panapitukkul. 2006. Coastal erosion and mangrove progradation of Southern Thailand. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 68: 75–85.
- Turker, U., Yagci, O. & M.S. Kabdasl. 2006. Analysis of coastal damage of beach profile under the protection of emergent vegetation. *Ocean Engineering*, 33: 810–828.
- UNEP–WCMC. 2006. In the front line: shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs. Cambridge, UK, UNEP-WCMC. 33 pp.
- Van der Weide, J., de Vroeg, H. & F. Sanyang. 2001. Guidelines for coastal erosion management. In: E. Ozhan, ed. *Medcoast 01: proceedings of the fifth international conference on Mediterranean coastal environment*. Vol. 3, pp. 1399–1414. Ankara. Turkey.
- Wolanski, E. 1992. Hydrodynamics of mangroves swamp and their coastal waters. *Hydrobiologia*, 247: 141–161.

Wolanski, Eric (2007) *Protective functions of coastal forests and trees against natural hazards*. In: Coastal Protection in the Aftermath of the Indian Ocean Tsunami: what role for forests and trees? Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand, pp. 157-179. <http://www.fao.org/docrep/010/ag127e/ag127e00.HTM>

Wu, Y., Falconer, R.A. & J. Struve. 2001. Mathematical modeling of tidal currents in mangroves forests. *Environmental Modelling & Software*, 16: 19–29.

Xia, D.X., Wang, W.H., Wu, G.Q., Cui, J.R. & F.L. Li. 1993. Coastal erosion in China. *Acta Geographica Sinica*, 48(5): 468–476 (English abstract).