

VULNERABILIDAD Y ADAPTABILIDAD AL ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR EN HUMEDALES Y POBLACIONES COSTERAS: EL MANGLAR DEL HUMEDAL NACIONAL TÉRRABA-SIERPE DE OSA, COSTA RICA

Ricardo Valverde Sánchez¹

Consultor independiente
Tarrazú, San José, Costa Rica;
ricardo_valverdes@yahoo.com

Carmen González Gairaud²

Universidad de Costa Rica
Montes de Oca, San José, Costa Rica
carmen.gonzalez@ucr.ac.cr

Lilliana Piedra Castro³

Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica
lilliana.castro.piedra@una.cr

Jaime E. García González⁴

Universidad de Costa Rica; UNED
San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica
biodiversidadcr@gmail.com

Recibido 4 de abril de 2016 • Corregido 05 de mayo de 2016 • Aceptado 15 de mayo de 2016

Resumen

El pronosticado ascenso en el nivel medio del mar convierte a los litorales costarricenses en espacios vulnerables. Las características geomorfológicas predominantes de la costa pacífica costarricense, consistente de playas en el frente de llanuras aluviales y marismas, convierte a esta región en una zona susceptible a la expansión marina como resultado del ascenso del nivel del mar.

Es bajo este contexto que la presente investigación busca analizar la vulnerabilidad de poblaciones y ecosistemas costeros, en una unidad geográfica específica del litoral del pacífico sur costarricense: el manglar del Humedal Nacional Térraba-Sierpe (HNTS), así como dotar a estos entornos y comunidades humanas dependientes de los mismos de herramientas que ayuden a reducir su vulnerabilidad.

El análisis socioespacial evidencia espacios costeros donde coexisten poblaciones humanas y bosques de mangle vulnerables a la trasgresión y expansión marinas asociadas con el ascenso del nivel del mar. La percepción de la población consultada y las observaciones de campo, constatan que el crecimiento del nivel del mar constituye un factor que está generando modificaciones en la dinámica costera, con las consecuentes repercusiones sobre el manglar y sus poblaciones.

Palabras clave: Nivel del mar, Calentamiento Global, Costas, Erosión, Humedal nacional Térraba-Sierpe, Inundaciones, Vulnerabilidad.

¹ Biólogo y máster en geografía. Apto: 10501-Costa Rica.

² M.Sc. Pertenece a la Escuela de Biología. Apto: San José 2060, Costa Rica.

³ M.Sc. Pertenece a la Escuela de Ciencias Biológicas. Apto: Heredia 86-3000, Costa Rica.

⁴ Dr. Pertenece a la Escuela de Biología de la UCR y al Centro de Educación Ambiental de la UNED. Apto: San José 2060, Costa Rica.

Abstract

The geomorphologic traits of Costa Rica's Pacific coastline, consisting of beachfronts on coastal plains and sea marshes, turn it into a vulnerable spatial unit to the predicted rise in the average sea level with its subsequent sea water expansion. Under this scenario, the current research focuses on analyzing the vulnerability of coastal ecosystems and their human settlements, in a specific geographical unit of Costa Rica's south Pacific coast: The mangrove of the Terraba-Sierpe National Wetland, as well as on providing these surroundings and their depending communities with some tools oriented to diminish their vulnerability.

The socio-spatial analysis shows coastal areas with human populations and mangrove forests that due their close proximity to the coastline, are highly exposed to the sea level rise effects. The perception of the surveyed local population and the field findings demonstrate that the sea level rise has become a changing factor of the coastal dynamics, with its subsequent repercussions on the mangrove and its human settlements.

Keywords: Sea level, Global warming, Coasts, Erosion, Terraba-Sierpe national wetland, Vulnerability.

Introducción

El Humedal Nacional Terraba-Sierpe (HNST) es un área protegida por diversas categorías de manejo, incluida la Convención RAMSAR sobre humedales de importancia internacional (Ministerio de Ambiente y Energía, Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Área de Conservación Osa; The Nature Conservancy; Universidad para la Cooperación Internacional y Escuela Latinoamericana de Áreas Protegidas, 2007; Ministerio de Ambiente y Energía, Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Área de Conservación Osa; The Nature Conservancy; Universidad para la Cooperación Internacional y Escuela Latinoamericana de Áreas Protegidas, 2008; Cordero y Solano, 2000). Este ecosistema alberga alrededor del 43% de la totalidad de los manglares existentes en Costa Rica y representa el bosque de mangle más extenso de Centroamérica (Bravo, Miranda, Rivera y González, 1998; Echeverría, 2006) (ver figura 1). Sin embargo, varias dinámicas convergen en las cuencas alta y media del río Terraba (Guignier, 2011) y hacia el interior del mismo con considerables repercusiones sobre la sustentabilidad presente y futura de sus elementos constitutivos.

Adicionalmente a los impactos identificados que afectan este humedal, el ascenso en el nivel del mar representa una amenaza en contra de sus manglares y comunidades humanas dependientes del mismo, convirtiendo a estos ecosistemas en unidades espaciales vulnerables a este fenómeno.

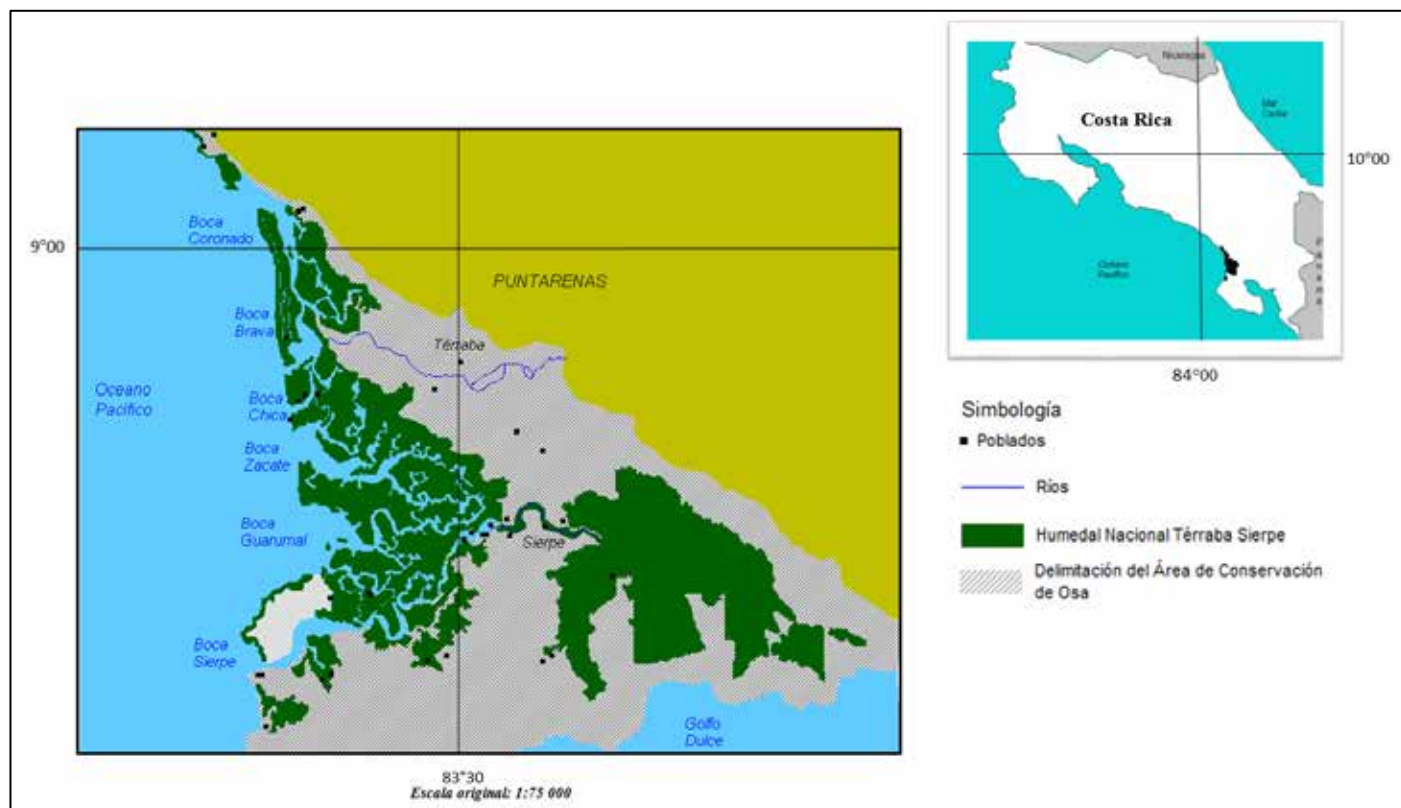


Figura 1. Humedal Nacional Terraba-Sierpe. Fuente: Elaboración propia a partir de Acosa *et al.*, 2007; p. 38.

Diversos factores se concatenan en la inundación de zonas costeras, entre ellos el calentamiento global con la consecuente expansión térmica de los océanos, que contribuyen a debilitar la resiliencia de los manglares ante el ascenso del nivel del mar. La resistencia se refiere a la habilidad de los manglares para adaptarse al ascendente nivel del mar sin alterar sus funciones, procesos y estructuras y la resiliencia es definida como la capacidad de los manglares de migrar naturalmente hacia el continente como respuesta al creciente nivel del mar, de forma tal que absorba y se reorganice ante el eventual ascenso en el nivel del mar de los efectos del estrés para mantener sus funciones, procesos y estructuras (Gilman Ellison, Duke y Field, 2008).

El objetivo del presente artículo es presentar la propuesta de zonificación sobre la vulnerabilidad de los espacios costeros ante el ascenso del nivel del mar que coadyuve a reducir dicha vulnerabilidad en comunidades y ecosistemas litorales en el HNTS.

Metodología

Para desarrollar la temática de la investigación, se realizó la revisión de la literatura sobre la vulnerabilidad asociada con la elevación del nivel del mar en ecosistemas y poblaciones costeras e información sobre el manglar del HNTS referente a sus características biofísicas, socioeconómicas e institucionales.

Para la ubicación y descripción del espacio estudiado, se recurrió a las hojas cartográficas escala 1:50 000 correspondientes a Coronado, Térraba y Sierpe del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y a la información cartográfica elaborada por el Proyecto para la elaboración de los planes de manejo de las áreas protegidas de Acosa (MINAE, *et al.* y 2007 MINAE, *et al.*, 2008) en la delimitación espacial del manglar del HNTS.

Adicionalmente, se consultaron las imágenes aéreas del Instituto Geográfico Nacional (escalas 1: 35 000 y 1:40 000) correspondientes a la desembocadura del río Térraba y de la transformación experimentada en el uso del suelo entre los años 1978 y 1997, las imágenes satelitales del proyecto Carta 2003 y 2005, el *Mapa geológico de Costa Rica 2007* (escala 1: 400 000) (Denyer y Alvarado, 2007) y la información cartográfica elaborada por el IGN en el *Plan de ordenamiento territorial para la gestión ambiental del Humedal de Sierpe de Osa* (Álvarez, Oconitrillo y Vargas, 1999).

Para la elaboración de la cartografía a partir de los mapas e imágenes consultados, se recurrió al programa de cartografía digital Mapinfo Professional. La vulnerabilidad de los manglares y las comunidades locales en el HNTS fue definida por la geología y geomorfología (Denyer y Alvarado, 2007), topografía y grado de exposición al ascenso del nivel del mar en el

área de estudio, bajo un escenario realista de ascenso de 1 m o más hasta el año 2100 (IPCC, 2007), que hace prever que los tipos de costa predominantes en Costa Rica, playas en el frente de llanuras aluviales y marismas, son los más vulnerables ante un ascenso del nivel del mar (Díaz-Andrade, 1999; Campos, 1999), con consecuentes transgresiones de la línea ribereña actual y ampliación de las áreas sujetas a inundación mareal (Fetzek, 2009), características éstas predominantes en la desembocadura del HNTS.

Con base en estos elementos, se asignaron tres niveles cualitativos de vulnerabilidad (alto, medio y bajo) del espacio costero en la elaboración de los mapas de vulnerabilidad ante el ascenso del nivel del mar, de acuerdo con la metodología empleada en Kokot *et al.* (2004).

De forma simultánea, se efectuaron visitas de campo a la zona de estudio entre los meses de marzo del 2009 y agosto del 2012, específicamente, a las comunidades asentadas en las inmediaciones de los manglares del HNTS. Para efectos de caracterizar a la población y recopilar su percepción sobre el humedal, se confeccionó una encuesta sobre las condiciones socioambientales, principales externalidades que padece el HNTS y efectos asociados con el pronosticado ascenso del nivel del mar. Esta fue aplicada a un grupo de personas de distintos grupos etarios, ocupaciones y de nivel educativo, entre ellos funcionarios públicos de entidades estatales, habitantes de las comunidades, pescadores, recolectores de piangüa (*Anadara spp.*, es el nombre común dado a un tipo de molusco bivalvo comestible que se colecta en los manglares en la costa Pacífica costarricense), educadores y pequeños empresarios locales asentados en el manglar Térraba-Sierpe.

Los niveles de erosión/sedimentación costera fueron definidos en las inspecciones de campo aplicando la escala empleada por Cárdenes y Obando (2005), cuyos rangos oscilan entre 1 y 5; siendo 1 la escala más baja y 5 la escala más alta para definir cualitativamente los efectos erosivos y sedimentarios observados en la dinámica litoral costera (Tabla 2).

Resultados

La vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar en los manglares del HNTS

La geología de la zona de estudio consiste predominantemente de sedimentos inconsolidados del periodo Cuaternario (Denyer y Alvarado, 2007), que brindan una alta vulnerabilidad a la zona costera del HNTS ante los procesos erosivos y de sedimentación ocasionados por la dinámica costera, con el consecuente retroceso costero (Cárdenes y Obando, 2005; Kokot *et al.*, 2004).

Para el sector correspondiente al humedal marino Drake, entre Punta Ganadito y Punta Agujitas, las franjas arenosas y pequeños caseríos muestran niveles diferenciados de vulnerabilidad. La comunidad de Drake, asentada en las cercanías del estuario homónimo es altamente vulnerable al ascenso del nivel

del mar. El río Drake es propenso a experimentar inundaciones y retroceso costero en su desembocadura, al igual que los caseríos ubicados en el estero Ganado cuya franja costera es altamente vulnerable (Figura 2).

	No apreciable	Muy leve	Media	Fuerte	Muy Fuerte
Niveles	1	2	3	4	5
Efectos	Efecto neto es un equilibrio dinámico que mantiene la morfología costera. Cambios sutiles que requieren monitoreo.	Zonas costeras con exposición ligera de raíces de vegetación en el límite de marea alta normal. Terrazas de erosión > 50 cm de altura. Infraestructura civil no comprometida.	Raíces de árboles y palmeras expuestas en zona de marea alta, basculadas en límite de mareas más altas o zona intermareal. Pérdida de sustrato que da soporte a las raíces. Estado empieza a ser crítico.	Fuerte exposición radicular de palmas y árboles. Raíces eliminadas en algunos casos, donde solo se percibe el tronco, árboles > 5 m tumbados en zona intermareal. Terrazas de sedimentación > 1-1,5 m. Infraestructura cercana a frente de erosión-sedimentación.	Sistema radicular de vegetación expuesto y desarticulado, terrazas, sustrato de vegetación > 5 m, árboles socavados, terrazas de erosión > 1,5 m. Sistemas de estabilización colapsados e insuficientes, infraestructura comprometida por oleaje, corrientes litorales y fluviales.

Tabla 2: Niveles de erosión/sedimentación costera. Fuente: Elaboración propia, a partir de Cárdenes y Obando (2005).

Para el sector correspondiente al humedal ribertino Río Sierpe, la desembocadura del mismo y sus manglares asociados muestran niveles medio y alto de vulnerabilidad. Aquellas áreas propensas a la acumulación marina en planicies costeras ubicadas aguas arriba muestran una vulnerabilidad media, mientras que los caseríos dispersos cercanos a la costa muestran niveles altos de vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar. Las quebradas tributarias sobre la margen izquierda son altamente vulnerables a la trasgresión marina (Figura 3).

El sector correspondiente al humedal estuarino Térraba-Sierpe (Figuras 4, 5 y 6) abarca las llanuras costeras en el Valle del Diquís, con rangos altitudinales que oscilan entre 0 y 6 m.s.n.m. Comprende las planicies y comunidades herbáceas, planos de arena, pastizales y sobre todo, la mayoría de los bosques de mangle y la red de canales asociados (Bravo et al., 1998). Cuyos niveles de vulnerabilidad oscilan entre medio y alto ante la erosión y sedimentación mareales, así como a mayores zonas expuestas a eventuales inundaciones y retrocesos costeros.

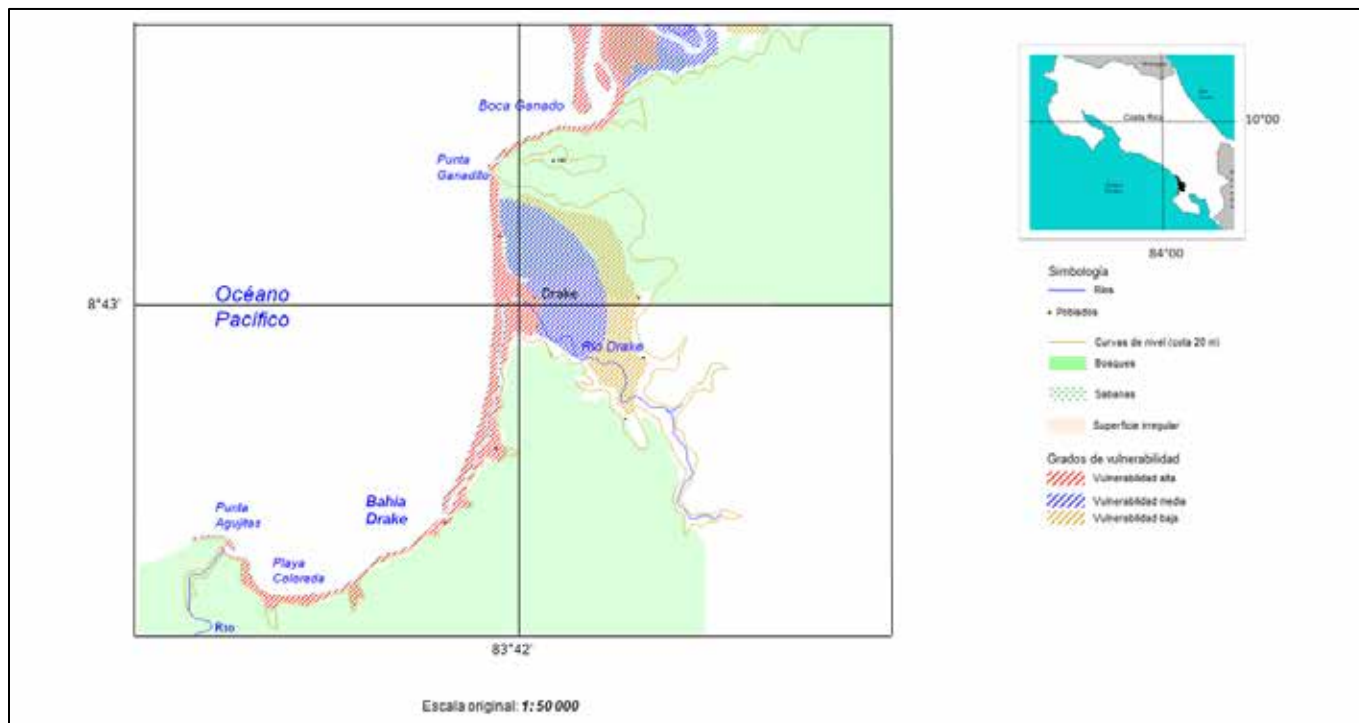


Figura 2. Niveles de vulnerabilidad ante la inundación marina pronosticada por el ascenso en el nivel del mar. Sector humedal marino Drake (Punta Ganadito- Punta Agujitas) del HNTS. Fuente: Elaboración propia a partir de la Hoja cartográfica Sierpe IGN, MOPT.



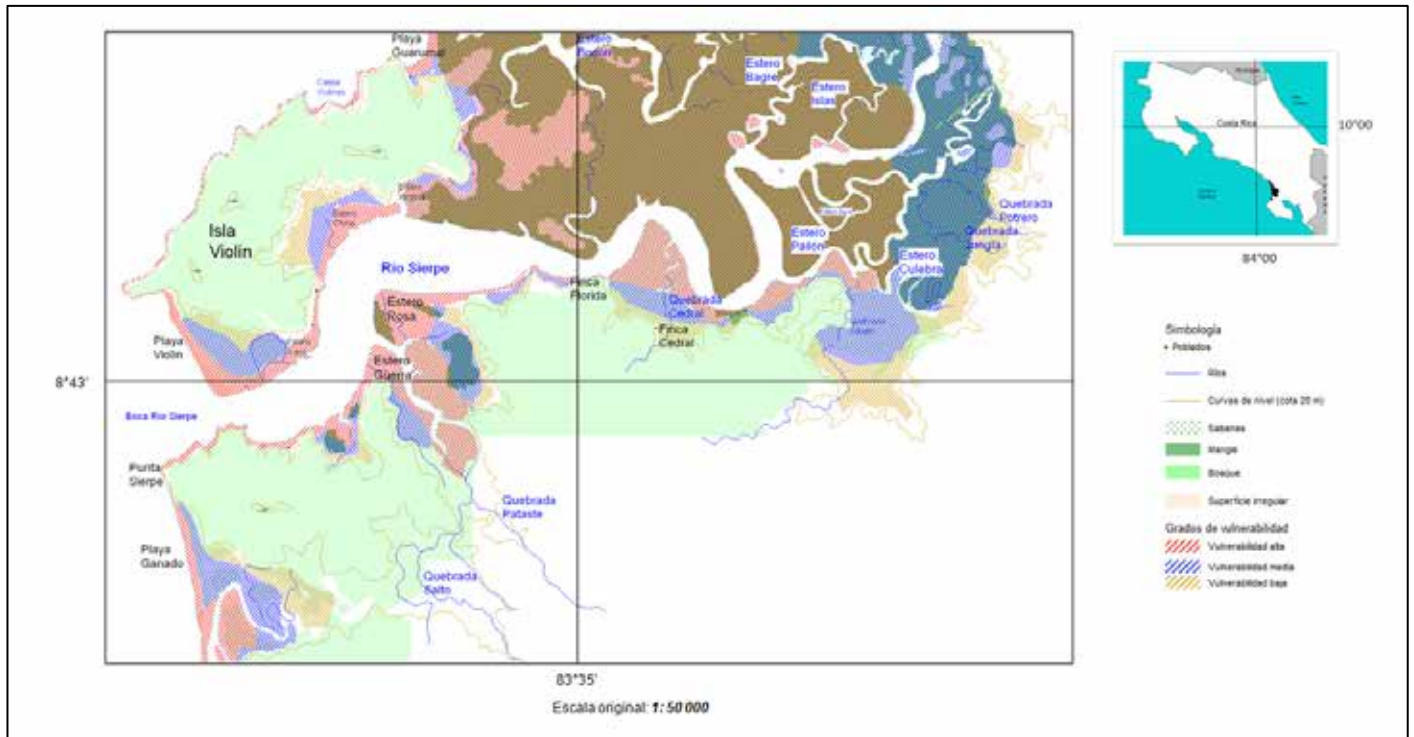


Figura 3: Niveles de vulnerabilidad ante la inundación marina pronosticada por el ascenso en el nivel del mar. Sector humedal ribertino Rio Sierpe del HNTS. Fuente: Elaboración propia a partir de la Hoja cartográfica Sierpe IGN, MOPT.

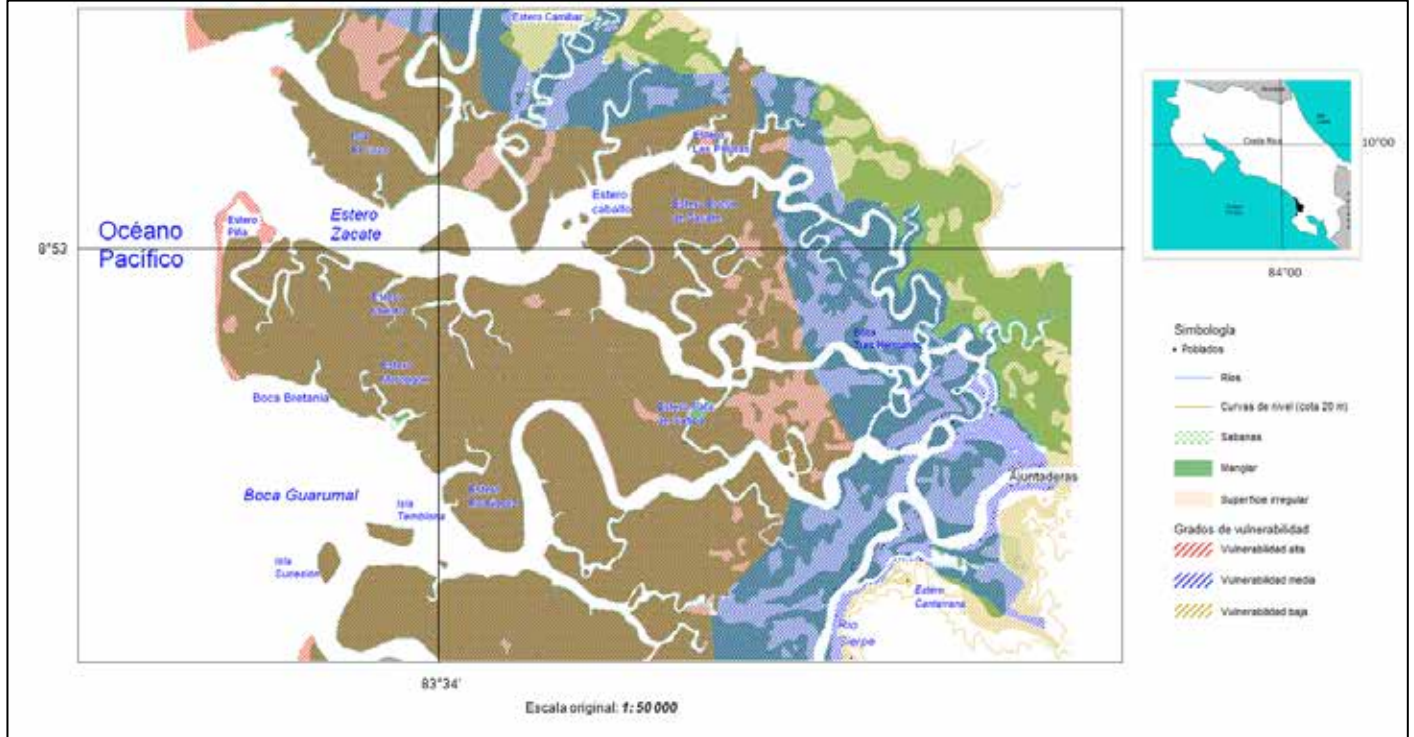


Figura 4. Niveles de vulnerabilidad ante la inundación marina pronosticada por el ascenso en el nivel del mar. Sector humedal estuarino Térraba-Sierpe del HNTS (Boca Guarumal y Boca Zacate). Fuente: Elaboración propia a partir de la Hoja cartográfica Térraba IGN, MOPT.

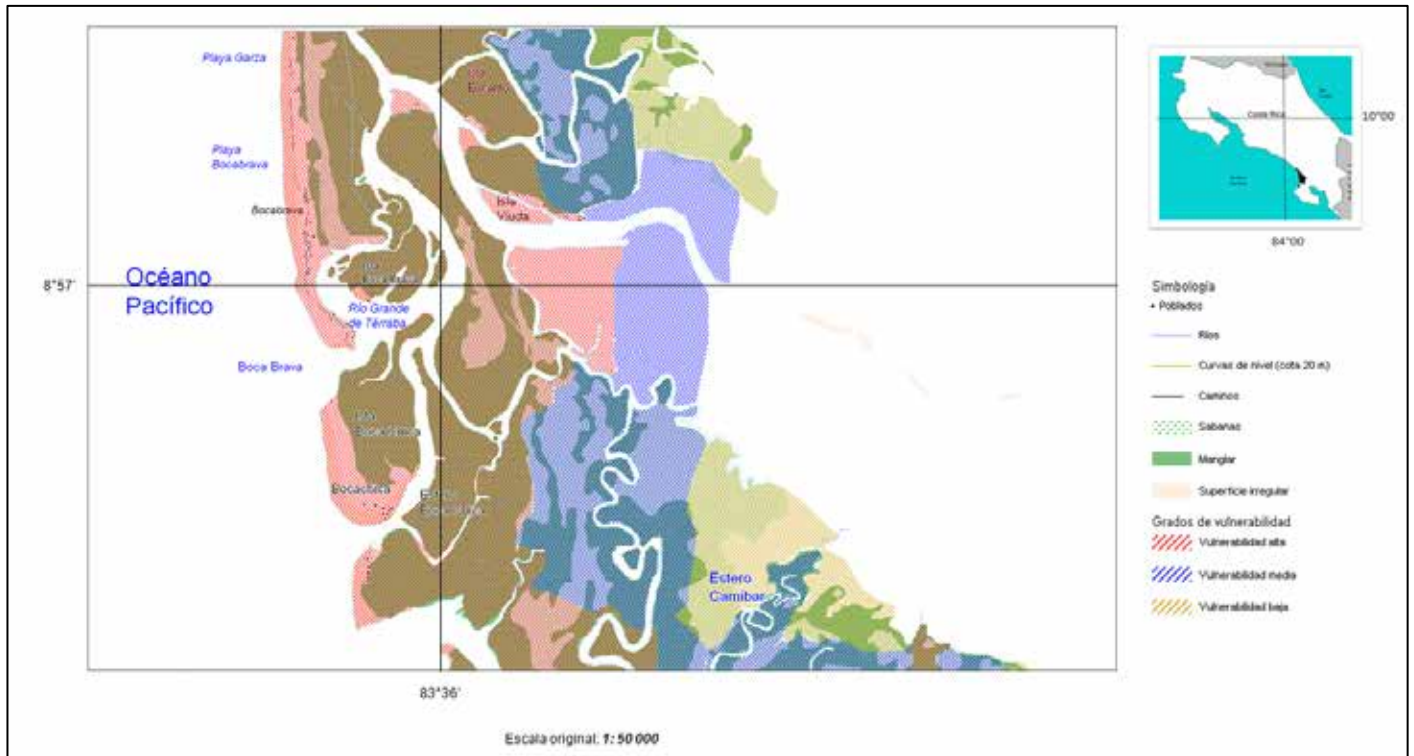


Figura 5. Niveles de vulnerabilidad ante la inundación marina pronosticada por el ascenso en el nivel del mar. Sector humedal estuarino Térraba-Sierpe del HNTS (Boca Chica y Boca Brava). Fuente: Elaboración propia a partir de la Hoja cartográfica Térraba IGN, MOPT.

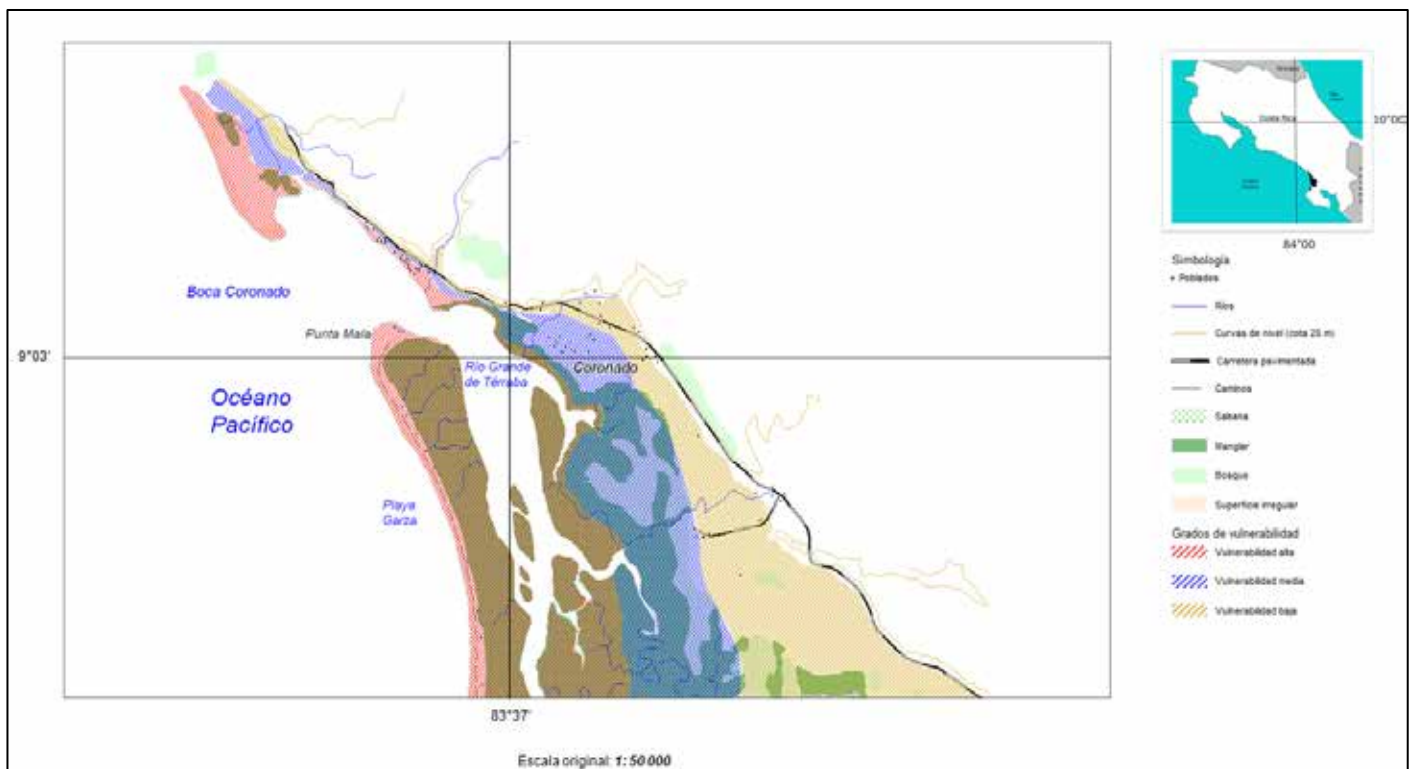


Figura 6. Niveles de vulnerabilidad ante la inundación marina pronosticada por el ascenso en el nivel del mar. Sector humedal estuarino Térraba-Sierpe del HNTS (Boca Coronado). Fuente: Elaboración propia a partir de la Hoja cartográfica Coronado IGN, MOPT.

Las desembocaduras de Boca Guarumal y Boca Zacate (Figura 4); Boca Chica y Boca Brava (Figura 5), así como playa Garza (Figura 6), que comprenden el delta Térraba-Sierpe, son vulnerables al retroceso costero, aunque su vulnerabilidad ante el ascenso del nivel del mar disminuye cuenca arriba en sus planicies costeras. Las localidades antes citadas albergan los principales sitios de recolección de piangüa que abastece a los pescadores y colectores locales (MINAE, et al., 2007), convirtiendo esta área en una unidad espacialmente vulnerable al ascenso del nivel del mar en detrimento del sustento de dichas comunidades.

Se vislumbran mayores áreas sujetas a anegamiento y ensanchamiento de canales en altitudes intermedias (inferiores a la cota 20 m) de las planicies costeras, como resultado de la expansión marina en amplios sectores del manglar. Se identifica una vulnerabilidad media en estos planos altitudinales, tanto para el sector humedal ribertino Río Sierpe, como para el sector humedal estuarino Térraba-Sierpe (figura 5). El nivel de vulnerabilidad en canales y comunidades ubicadas cuenca arriba, donde la influencia mareal es amortiguada por la presencia de canales interiores y mayores planos altitudinales, es catalogado como baja.

El sector de Punta Mala sobre la desembocadura del río Térraba, con sus manglares y pastizales asociados, es vulnerable debido a su exposición al frente costero (Figura 6), siendo el nivel de vulnerabilidad para estos sistemas mencionados anteriormente, entre alto y medio con propensión al retroceso costero y acumulación marina para estos elementos geográficos. La vulnerabilidad disminuye con el ascenso altitudinal, donde el poblado de Coronado muestra niveles de vulnerabilidad bajos (Figura 6).

Indicios de erosión/sedimentación

De acuerdo con las inspecciones de campo, se observaron niveles de erosión/sedimentación entre 3 y 4 (Tabla 1) en las desembocaduras de Boca Zacate y Boca Guarumal, con exposiciones radiculares en árboles y terrazas de sedimentación visibles (Figura 7 y 8).



Figura 7. Panorámica de Boca Zacate. Fotografía: Valverde, R. Diciembre, 2010.



Figura 8. Panorámica de Boca Guarumal. Fotografía: Valverde, R. Diciembre, 2010.

La desembocadura de Boca Chica presenta nivel de erosión/sedimentación 2 (Tabla 1) con terrazas de sedimentación y presencia de árboles sin daño radicular (Figura 9).



Figura 9: Panorámica de Boca Chica. Fotografía: Valverde, R. Diciembre, 2010.

La desembocadura de Boca Brava con nivel de erosión/sedimentación 5 (Tabla 1), muestra frentes de expansión marina sobre la costa, vegetación colapsada y terrazas superiores a 1 m (Figura 10), siendo estos indicios evidencia de cambios en la morfología costera del manglar Térraba-Sierpe como resultado de la acción combinada del oleaje con las corrientes marinas (Cárdenes y Obando, 2005).



Figura 10: Panorámica de Boca Brava. Fotografías: Valverde, R. Agosto, 2012.

Efectos asociados con el ascenso en el nivel del mar en la costa pacífica costarricense

Los cambios asociados con el ascenso del nivel del mar son visibles con la desaparición de las islas Sucesión y Zacate, la erosión de esa playa y de manglares asociados en Boca Guarumal, así como la desaparición de más del 50% de la isla El Coco en Boca Zacate (Ortiz, 2008).

Los cambios morfológicos son evidentes en la formación y ruptura de islas de barrera ubicadas en las desembocaduras, durante eventos de tormenta y mareas altas en las desembocaduras de Boca Brava y Boca Coronado del río Térraba (Ortiz, 2008).

Estos elementos son compatibles con los cambios geomorfológicos asociados con el ascenso del nivel del mar propiciados por el calentamiento global, como se prevé que está ocurriendo (Ortiz, 2008). El área de estudio ha experimentado una pérdida gradual de superficie en casi todos sus elementos geográficos (Tabla 2).

Elemento geográfico	Área en hoja cartográfica (ha)	Área ganada o perdida (ha)			
		1973	1992	2005	*2011
Isla El Coco	191	-28	-89	-109	-59,3%
Isla Zacate	228	-127	-218	-228	-100%
Isla Mero	22	0	+29	+21	
Isla Temblona	17	+5	+65	+307	
Isla Sucesión	15	-8	-15	-15	-100%
Manglar Guarumal	Nd	-17	-62	-76	-9,83%
Playa Guarumal	42	-42	-17	-4	
Balance	Nd	-217	-307	-104	-14,6%

Nd= No disponible.
ha= hectáreas.

Tabla 2: Cambios experimentados en las superficies aledañas al manglar del HNTS en cuatro distintos periodos. Fuente Ortiz, 2008 y Mora, 2013.

Percepción de la población local sobre el ascenso del nivel del mar en el HNTS

Aproximadamente 42% de la población local encuestada considera al ascenso del nivel del mar como un fenómeno que afecta negativamente a los manglares de Terraba-Sierpe, provocando interrupciones en los canales, inundaciones en los estuarios y fluctuaciones en las corrientes de los canales, con eventos de marea alta cada vez más frecuentes hacia el interior de los canales mismos y los manglares (Gráfico 1).

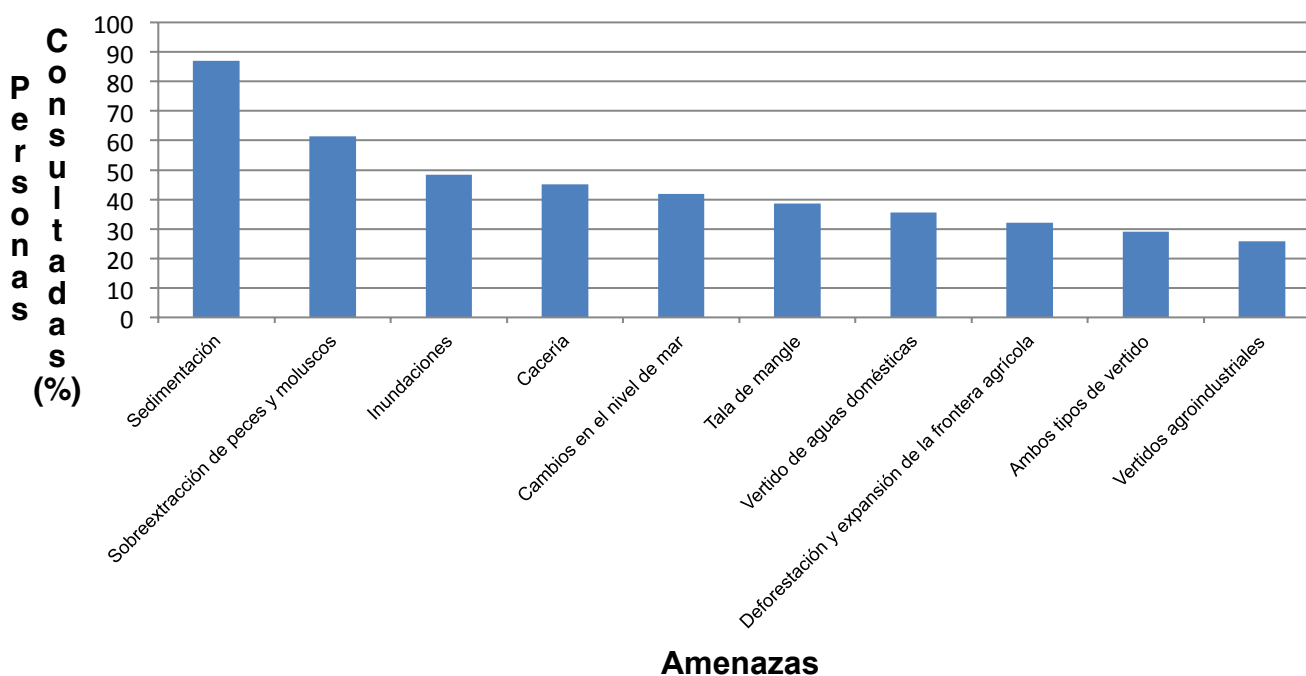


Gráfico 1. Amenazas que enfrenta el HNTS según la percepción social en las comunidades de Sierpe, Palmar, Boca Guarumal, Ajuntaderas, Boca Zacate, Boca Chica, Boca Brava y Boca Coronado. Marzo 2009-agosto 2012. Fuente: Valverde, 2015.



Dos de las personas encuestadas (6,5%) manifiestan que tanto en Boca Guarumal como en Boca Zacate, desapareció el canal en el frente de playa como resultado de las mareas altas que se suscitan con mayor frecuencia.

Una de las personas encuestadas (3%) afirma que las crecidas del mar han inundado el estero Doña Rosa en Boca Zacate y el estero Chingo en Boca Coronado, así como el sector de playa frente a estos dos esteros.

Otra de las personas encuestadas (3%) manifiesta que se presentan crecidas por encima de lo normal en Boca Chica. De igual forma, otro encuestado (3%) afirma que el ascenso del nivel del mar ha propiciado cambios de caudal en los canales de ese mismo sector.

También, una persona encuestada manifiesta que la transgresión marina, junto con la crecida del caudal del río Térraba, han propiciado la apertura de un nuevo boquete en el sector de Boca Brava, situación que obligaría a reubicar la escuela de Boca Brava, y se indica que la apertura del boquete de Boca Nueva separó las comunidades de Playa Garza y Boca Brava, y se han presentado cambios en el curso de las mareas del frente costero de ese sector.

Discusión y conclusiones

Dentro de un ámbito más amplio, las proyecciones climáticas tendrán efectos sobre la temperatura superficial de los océanos, con la consecuente expansión térmica de los mares. Las zonas costeras serán cada vez más vulnerables bajo este cambiante escenario, con las recientes y pronosticadas reducciones en la superficie de los espacios costeros (Wells, Ravilous y Corcoran 2006); y con los probables cambios en la productividad, composición y distribución de especies en las comunidades bióticas costeras (Gilman et al., 2006 and Gilman et al., 2008).

En respuesta a lo anterior, los manglares son susceptibles a mayores períodos de anegamiento y a tasas de salinidad más prolongadas. Dentro de este contexto, las especies de mangle salino-tolerantes pueden desplazar a otras menos tolerantes de las zonas costeras bajo un escenario de calentamiento global como el previsto, con los consecuentes cambios en la estructura horizontal del ecosistema (McLeod y Salm, 2006). Lo anterior son indicios asociados con la elevación del nivel del mar.

La zona de estudio concatena distintos tipos de vulnerabilidad no subsanados aún, que convierten al HNTS, sus comunidades humanas y ecosistemas en elementos susceptibles a los efectos asociados con la elevación del nivel del mar.

Los efectos del ascenso del nivel del mar se perciben en los patrones de erosión/sedimentación costera en las desembocaduras del sistema deltaico Térraba-Sierpe, con niveles diferenciados de erosión que propician cambios en la morfología del litoral.

El calentamiento global y su vinculación con el ascenso del nivel del mar, no son temas con los que la población encuestada se encuentre familiarizada. No obstante, su percepción evidencia que el ascenso del nivel del mar y la transgresión marina se empieza a captar como uno de los fenómenos apreciables en detrimento del manglar del HNTS.

Los niveles de vulnerabilidad propuestos para el área de estudio, suponen distintos niveles de gestión que varían desde la conservación dirigida a reducir la intervención y la exposición a factores antrópicos de aquellos ecosistemas vulnerables al ascenso del nivel del mar (vulnerabilidad alta), hasta la restauración de los manglares y ecosistemas conexos que se encuentran menos expuestos al ascenso del nivel del mar (vulnerabilidades media y baja).

El fortalecimiento de la adaptabilidad de los manglares del HNTS ante el ascenso del nivel del mar, necesariamente implica la ejecución de planes y prácticas que rehabiliten los espacios deteriorados en las partes medias y altas de la cuenca del Térraba-Sierpe, y en los entornos intervenidos dentro del perímetro del HNTS mediante la supervisión de las actividades productivas desreguladas que se suscitan dentro del área protegida.

La regeneración e interconectividad de ecosistemas asociados con los manglares, se vislumbran como prácticas orientadas a fortalecer las aptitudes de resiliencia de los manglares ante el deterioro pronosticado con el ascenso del nivel del mar.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, J.; Asch, C.; Oconitrillo, G. y Vargas, S. (1999). *Plan de ordenamiento territorial para la gestión ambiental del humedal de Sierpe de Osa, Costa Rica*. San José, C.R. : Instituto Geográfico Nacional.
- Bravo, J.; Miranda, C.; Rivera, L. y González, J. (1998). Caracterización de la vegetación de los humedales de la región Sierpe-Térraba, Osa, Puntarenas, Costa Rica. *Revista Informe Semestral del Instituto Geográfico Nacional*, (34), pp. 33- 44.
- Campos, M. (1999). *Estudios de cambio climático en Costa Rica*. San José, C.R : MINAE, IMN, The Institute for Environmental Studies, Comité Regional de Recursos Hidráulicos.
- Cárdenes, G.; Obando, L.G. (2005). Índice de erosión costera (IE-SC). Una aplicación en la costa del pacífico central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*. (32), pp. 33-43.

- Climate Change (2007): *The physical science basis. Summary for policymakers : intergovernmental panel on climate change*. Geneva, Switzerland: IPCC; WMO/UNEP.
- Cordero, P. y Solano, F. (2000). *El manglar más grande de Costa Rica: experiencias de la UICN en el Proyecto Danida-Manglares de Terraba Sierpe*. San José, C.R. : UICN.
- Costa Rica. Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), Área de Conservación Osa (ACOSA); The Nature Conservancy (TNC); Universidad para la Cooperación Internacional (UCI) y Escuela Latinoamericana de Áreas Protegidas (ELAP). (2007). *Proyecto para la elaboración de los planes de manejo de las áreas protegidas de Acosa : perfil borrador para el Plan de Manejo del Humedal Nacional Terraba Sierpe. Serie documental PMACOSA- N.74*. San José, C.R. : MINAE.
- Costa Rica. Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), Área de Conservación Osa (ACOSA); The Nature Conservancy (TNC); Universidad para la Cooperación Internacional (UCI) y Escuela Latinoamericana de Áreas Protegidas (ELAP).. (2008). *Proyecto para la elaboración de los planes de manejo de las áreas protegidas de Acosa. Resumen Ejecutivo del Plan de Manejo del Humedal Nacional Terraba Sierpe (versión para oficialización)*. San José, C.R. : disponible en: <http://goo.gl/q8XRbb>
- Denyer, P. y Alvarado, G. (2007). *Mapa geológico de Costa Rica (escala 1: 400 000)*. San José, C.R : Universidad de Costa Rica: Escuela Centroamericana de Geología. Instituto Costarricense de Electricidad: Centro de Servicios de Exploración Subterránea.
- Díaz-Andrade, J. (1999). *Determinación de las zonas de riesgo ante un ascenso del nivel del mar: Punta Morales-Tárcoles (Informe final) : Previsiones de ordenamiento costero ante un eventual cambio climático y ascenso del nivel del mar, caso de estudio: la costa del golfo de Nicoya, Costa Rica*. San José, C.R. : IMN, MINAE.
- Echeverría, S. (2006). *Diversidad taxonómica de los decápodos en el manglar de Terraba, Puntarenas, Costa Rica*. Tesis presentada para optar por el grado de Licenciada en Biología. Universidad de Costa Rica: Facultad de Ciencias, Escuela de Biología.
- Fetzek, S. (2009). *Climate-related impacts on national security in Mexico and Central America : interim report*. Royal United Services Institute. Disponible en: <http://goo.gl/W5pfHR>.
- Gilman, E. H.; Van Lavieren, J.; Ellison, V.; Jungblut, L.; Wilson, F.; Areki, G.; Brighthouse, J.; Bungitak, E.; Dus, M.; Henry, I.; Sauni Jr. M.; Kilman, E.; Matthews, N.; Teariki-Ruatu, S.; Tukia, K. y Yuknavage, J. (2006). *Pacific Island Mangroves in a Changing Climate and Rising Sea. UNEP Regional Seas Reports and Studies N.º 179*. Nairobi, Kenya : United Nations Environment Programme, Regional Seas Programme. Disponible en: <http://goo.gl/AI14BG>.
- Gilman, E.; Ellison, J.; Duke, N. y Field, C. (2008). Threats to mangroves from climate change and adaptation options. *Aquatic Botany*. (2007), pp. 1-14. Disponible en: <http://goo.gl/wd9500>.
- Guignier, A. (2011). *Conserving biodiversity and sustaining livelihood in the Terraba Sierpe river basin – a legal perspective on biodiversity, water and coastal ecosystems*. Livediverse, sustainable livelihoods and biodiversity in developing countries. *Milestone Report 9.2, Costa Rica*. Disponible en: <http://goo.gl/7RhAnr>.
- Instituto Geográfico Nacional (Costa Rica). *Hojas 1:50 000 de Coronado, Terraba y Sierpe*. San José, C.R. : IGN.
- Kokot, R.; Codignotto, J. y Elissondo, M. (2004). Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 59(3), pp. 477-487. Disponible en: <http://goo.gl/LCnEzp>.
- McLeod, E. y Salm, R. (2006). *Managing mangroves for resilience to climate change : IUCN Resilience Science Group. Working Paper Series-N.º 2*. Gland, Switzerland: IUCN.
- Ortiz, E. (2008). Cambios geomorfológicos en el litoral Caribe y Pacífico de Costa Rica. Caso del complejo déltico Sierpe. *Kuru, Revista Forestal*. 5(15), pp. 1-10.
- Valverde, R. (2015). *Vulnerabilidad y adaptabilidad asociada al ascenso del nivel del mar en humedales y poblaciones costeras: el manglar del Humedal Nacional Terraba-Sierpe de Osa, Costa Rica*. Tesis presentada para optar por el grado de Maestría en Geografía. Universidad de Costa Rica: Facultad de Ciencias Sociales, Escuela de Geografía.
- Wells, S.; Ravilious, C. y Corcoran, E. (2006). *In the front line: shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs*. Cambridge, United Kingdom: UNEP-WCMC.

