



Estudio de caso:

Adaptación de las comunidades costeras vulnerables
ante las amenazas inminentes del cambio climático
en el área de *Paquera, Puntarenas*.



Estudio de caso: Adaptación de las comunidades costeras vulnerables ante las amenazas inminentes del cambio climático en el área de Paquera, Puntarenas / Erick Ross Salazar, editor; Marco Castro Campos; Omar Lizano Rodríguez; Didiher Chacón Chaverri; Juan Posada López. - 1ª edición – San José, Costa Rica, Fundación MarViva, 2018.

Fotografía de portada:

Erick Ross Salazar, Fundación MarViva.

67 páginas

ISBN: 978-9930-9599-3-0

1. Cambio climático – Adaptación. 2. Cambio climático – comunidades costeras. 3. Golfo de Nicoya. I. Ross Salazar, Erick. II. Castro Campos, Marco. III. Lizano Rodríguez, Omar. IV. Chacón Chaverri, Didiher. V. Posada López, Juan. Editor literario. VI. Título.

Este documento fue realizado por Fundación MarViva.

El objetivo de este proyecto fue reducir la vulnerabilidad de las comunidades costeras del Área Marina de Pesca Responsable Paquera-Tambor al cambio climática a través de la educación, investigación y ejecución de acciones a nivel comunal.

Fundación MarViva.

Derechos reservados.

La reproducción total o parcial del contenido incluido en este documento solamente es permitida con autorización previa por escrito de Fundación MarViva.

Citar cómo:

Ross Salazar, E., O. Lizano Rodríguez, D. Chacón Chaverri & M. Castro Campos. 2018.

Estudio de caso: adaptación de las comunidades costeras vulnerables ante las amenazas inminentes del cambio climático en el área de Paquera, Puntarenas. Fundación MarViva. San José, Costa Rica. 67pp.



Estudio de caso:

Adaptación de las comunidades costeras vulnerables
ante las amenazas inminentes del cambio climático
en el área de *Paquera, Puntarenas*.



CONTENIDO

Introducción	1
Contexto y oportunidad	2
Objetivos	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
Generalidades del proyecto	4
Antecedentes del AMPR Paquera-Tambor	5
Análisis oceanográfico	10
Metodología.....	10
Efectos del cambio climático sobre condiciones oceanográficas.....	11
Temperatura.....	11
Salinidad.....	11
Clorofila.....	11
Oxígeno disuelto.....	14
Potencial hidrógeno (pH).....	14
Nivel del mar.....	14
Precipitación.....	14
Viento.....	15
Oleaje.....	15
Circulación oceánica.....	15
Golfo de Nicoya.....	15
Análisis de series de tiempo océano-meteorológicas del Golfo de Nicoya.....	16
Temperatura superficial del mar (TSM).....	16
Salinidad.....	16
Clorofila.....	16
Nivel del mar.....	17
Precipitación.....	19
Viento.....	19
Oleaje.....	20
Otras variables oceanográficas.....	20
Erosión costera.....	20
Escenarios del nivel del mar.....	22
Impacto en los ecosistemas.....	23
Pesca responsable	29
Áreas Marinas de Pesca Responsable.....	29
Principios de la pesca responsable.....	30
Monitoreo pesquero.....	31

- Análisis de los efectos del cambio climático sobre el AMPR Paquera-Tambor**..... 33
 - Elementos focales de manejo en el AMPR Paquera-Tambor..... 33
 - Servicios ecosistémicos de un AMPR..... 33
 - Efectos esperados del cambio climático en el AMPR Paquera-Tambor..... 37
 - Fenómenos de El Niño y La Niña..... 38
 - Otros efectos del cambio climático..... 39
 - Riesgo..... 39
 - Vulnerabilidad..... 40
 - Exposición..... 43
 - Sensibilidad..... 43
 - Capacidad adaptativa..... 43
 - Impactos esperados..... 44
 - Infraestructura costera..... 44
 - Pesquerías..... 44
 - Turismo..... 46
 - Ecosistemas marinos y costeros..... 46
 - Reflexiones finales..... 48
 - Potencial de adaptación..... 48
 - Amenazas derivadas del cambio climático..... 49
 - Lecciones aprendidas..... 49

- Divulgación y sensibilización**..... 50

- Conclusiones**..... 57

- Apéndice**..... 59
 - Bases de datos consultadas..... 59

- Referencias**..... 61

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Estadísticas de las variables océano-meteorológicas en el Golfo de Nicoya y su zona de influencia.....	17
Cuadro 2. Estadísticos de la regresión lineal de las variables océano-meteorológicas.....	18
Cuadro 3. Volumen de especies desembarcadas en Tambor durante el periodo 2016-2017.....	32
Cuadro 4. Precio promedio de las especies desembarcadas en Tambor durante el periodo 2016-2017.....	32
Cuadro 5. Tendencias esperadas de las variables climáticas y oceanográficas en el Golfo de Nicoya.....	38
Cuadro 6. Tendencia de aparición del fenómeno de El Niño y La Niña.....	39

Índice de Figuras

Figura 1. Área Marina de Pesca Responsable Paquera-Tambor y comunidades costeras cercanas vulnerables al cambio climático.....	6
Figura 2. Áreas protegidas y zonas de manglar cercanas al AMPR Paquera-Tambor.....	8
Figura 3. Ecosistemas marinos y costeros presentes en el AMPR Paquera-Tambor, comportamiento de la temperatura superficial y zonas de reproducción de especies de importancia comercial del Golfo de Nicoya.....	9
Figura 4. Variación del nivel del mar en la punta de Puntarenas.....	18
Figura 5. Variación del nivel del mar en Balboa, Panamá.....	19
Figura 6. Serie histórica WHOI de la velocidad del viento (84,5°O, 9,5°N).....	20
Figura 7. Sitios bajo riesgo de erosión costera en el AMPR Paquera-Tambor.....	21
Figura 8. Playa de Punta del Río, Golfo de Nicoya.....	21
Figura 9. Playa Tambor, Bahía Ballena, Golfo de Nicoya.....	22
Figura 10. Escenario de aumento del nivel del mar de 3,2m en 50 años en Paquera.....	23
Figura 11. Escenario ante una marea de 4 m en 100 años en Paquera.....	24
Figura 12. Escenario ante una marea de 3,2 m en 50 años en Pochote.....	25
Figura 13. Escenario ante una marea de 4 m en 100 años en Pochote.....	26
Figura 14. Escenario ante una marea de 3,2 m en 50 años en Tambor.....	27
Figura 15. Escenario ante una marea de 4 m en 100 años en Tambor.....	28
Figura 16. Zonificación del Área Marina de Pesca Responsable Paquera Tambor.....	30
Figura 17. Elementos focales de manejo del AMPR Paquera-Tambor.....	33
Figura 18. Conceptos relacionados con el riesgo de los impactos conexos al clima.....	40
Figura 19. Capacitación en temas de pesca responsable y cambio climático.....	50
Figura 20. Guía de conceptos y procedimientos orientados hacia una pesca responsable.....	51
Figura 21. Póster informativo sobre cambio climático.....	52
Figura 22. Guía de bolsillo para pobladores costeros con temas de cambio climático y tabla de mareas.....	53
Figura 23. Libro de colorear sobre cambio climático para niños.....	54
Figura 24. Libro de colorear sobre pesca responsable para niños.....	55
Figura 25. Paquete de libros de colorear sobre cambio climático y pesca responsable, bolso y lápices de colores entregados a niños.....	55
Figura 26. Mapa parlante desarrollado con los participantes de los talleres para identificar las zonas del AMPR Paquera-Tambor más vulnerables, relacionadas a aspectos sociales, ambientales y pequeros, al cambio climático.....	56

Acrónimos

°C	Grado centígrado.
%	Porcentaje.
AJDIP	Acuerdo de Junta Directiva del Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura.
AMP	Área marina protegida.
AMPR	Área marina de pesca responsable.
ASPARMAR	Asociación Paquereña para el Aprovechamiento de los Recursos Marinos.
BID	Banco Interamericano de Desarrollo.
BIOMARCC	Proyecto biodiversidad marino costera en Costa Rica.
CaCO ₃	Carbonato de calcio.
CAMS	<i>Climate anomaly monitoring system.</i>
CMIP5	Modelo de inter-comparación compartida 5.
CO ₂	Dióxido de carbono.
COOPREPROMAR	Cooperativa Agroindustrial y Servicios Múltiples de Productores Marinos. Responsables de la Península de Nicoya R.L.
CPC	<i>Climate Prediction Center.</i>
CPUE	Captura por unidad de esfuerzo.
DPSIR	<i>Driving force, pressure, state, impact and response.</i>
ECMWF	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.</i>
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
g	Gramo.
GiZ	Corporación Alemana para la Cooperación Internacional.
ha	Hectárea.
ICOADS	<i>The International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set.</i>
INCOPESCA	Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura.
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
kg	Kilogramo.
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging.</i>
MODIS	<i>Moderate resolution imaging spectroradiometer.</i>
m	Metro.
mb	Milibar.
mg	Miligramo.
mm	Milímetro.
mol	Mol.
NCEP	<i>The National Centers for Environmental Prediction.</i>
OLR	<i>Outgoing longwave radiation.</i>
OPI	<i>OLR precipitation index.</i>
Pa	Pascal.
PSE	Pago de servicios ecosistémicos.
psu	Unidades prácticas de salinidad
SA	Servicio ambiental.
SeaWiFS	<i>Sea-viewing wide field-of-view sensor.</i>
s	Segundos.
SINAC	Sistema nacional de áreas de conservación.
TSM	Temperatura superficial del mar.
WHOI	<i>Woods Hole Oceanographic Institute.</i>

Introducción

El fenómeno del cambio climático es la variación del clima a nivel global. Esta variación está sujeta a las presiones impuestas por actividades antropogénicas, tales como las emisiones por combustión de hidrocarburos, la sobreexplotación de madera, el desarrollo costero, la contaminación terrestre y marina (sedimentación, sobrecarga de nutrientes, tóxicos y bioactivos, residuos sólidos y líquidos, derrames de petróleo). La variación conlleva a efectos perjudiciales para los ecosistemas, como el arribo de especies invasoras y la incidencia de enfermedades ligadas a nuevas distribuciones de vectores ya existentes (BIOMARCC-SINAC-GIZ, 2013a).

El cambio climático es un desafío a nivel mundial, debido al impacto sobre la naturaleza y consecuentemente en las actividades humanas (FAO, 2008). La adaptación a estos efectos es primordial para las comunidades costeras, por su cercanía a zonas particularmente susceptibles (BIOMARCC-USAID, 2013).

En los ambientes marinos y costeros, estas alteraciones están particularmente ligadas a variaciones en la salinidad del agua, acidificación de los océanos, aumento en el nivel del mar, cambios en la concentración de oxígeno, incremento en la severidad y frecuencia de tormentas marinas, alteraciones en los patrones de circulación de las corrientes marinas, modificaciones en los patrones de lluvia, variaciones en los caudales de los ríos y cambios en los flujos geoquímicos.

Las alteraciones mencionadas en ambientes marinos y costeros impactan directamente a las comunidades costeras, afectando la pesca, el turismo, la posibilidad de desarrollo urbano sobre la línea de costa y la economía local ligada a los servicios ecosistémicos.

Contexto y oportunidad

Es necesario identificar las zonas de riesgo crítico ante los impactos del cambio climático en áreas costeras, con el fin de contribuir a la sostenibilidad ambiental y el bienestar a largo plazo de las poblaciones particularmente sensibles. Esta identificación permite priorizar y fortalecer la implementación de medidas de adaptación a nivel comunal, integradas a los esfuerzos estatales para mejorar las condiciones futuras de las comunidades.

El Área Marina de Pesca Responsable (AMPR) de Paquera-Tambor es un ejemplo a nivel nacional de organización comunitaria y gestión de los recursos marinos. Las agrupaciones de base comunitaria de la zona se caracterizan por la promoción del aprovechamiento responsable de los recursos marinos, el fortalecimiento organizacional y la búsqueda de alternativas económicas para sus miembros. Este compromiso con la conservación y uso sostenible de los recursos permitió desarrollar el actual proyecto, en aras de mejorar la resiliencia al cambio climático de las comunidades costeras de la zona.

El trabajo directo con las autoridades y poblaciones locales permite un mejor engranaje de los esfuerzos orientados a la sostenibilidad de los hábitats y ecosistemas marinos. Este proyecto permitió establecer las bases para reducir la vulnerabilidad al cambio climático mediante:

- Valoración y mapeo detallado de los hábitats críticos en el área marina focal.
- Determinación de las zonas costeras más propensas a efectos negativos ante el cambio climático.
- Fortalecimiento de los grupos locales por medio de capacitaciones y producción de materiales relacionados a la pesca responsable y cambio climático.
- Sensibilización de las autoridades y representantes locales de las comunidades costeras de la zona.

El presente documento contiene dos componentes: i) un componente técnico-científico enfocado a un público con conocimiento del tema que da solidez a sus interpretaciones y argumentos; y ii) un componente de carácter divulgativo sobre los efectos del cambio climático en el AMPR Paquera-Tambor con recomendaciones prácticas para la adaptación, en el cual se buscó traducir el lenguaje técnico a uno de más fácil comprensión.

Objetivos

Objetivo General

Contribuir a la reducción de la susceptibilidad crítica de las comunidades costeras ante los efectos adversos del cambio climático, fortaleciendo la capacidad de adaptación de los actores locales y ecosistemas vulnerables en la región Pacífico Central. Todo esto se encuentra en línea con la Estrategia Nacional impulsada por el Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica, y con las prioridades de desarrollo sostenible establecidas por el Fondo de Adaptación.

Objetivos Específicos

Contribuir al mejoramiento de la resiliencia de las comunidades costeras y pesqueras relacionadas con el AMPR de Paquera-Tambor, vulnerables al cambio climático.

Contribuir al fortalecimiento de las comunidades, instituciones y grupos de interés en las zonas costeras, con respecto a su capacidad de adaptación al cambio climático.

Sensibilización y fortalecimiento de capacidades de tomadores de decisión y usuarios de los recursos marinos y costeros, para la incorporación de consideraciones sobre el impacto del cambio climático en procesos participativos de planificación e implementación de programas de conservación y desarrollo sostenible.

Generalidades del proyecto

Las principales características del proyecto se presentan a continuación:

Inicio	Enero 2016
Duración	18 meses
Ente de implementación nacional	Fundecooperación
Ente ejecutor	Fundación MarViva
Aliado para la ejecución	Asociación Paquereña para el Aprovechamiento de los Recursos Marinos
Presupuesto aprobado	\$76.999
Aliados estratégicos	Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura
Contrapartida de Fundación MarViva	\$34.521
Beneficiados	Líderes comunales Asociaciones de pescadores Niños y jóvenes de la comunidad Centros educativos Comunidades costeras Organizaciones locales Instituciones públicas
Zona geográfica relevante	Área Marina de Pesca Responsable Paquera-Tambor

Antecedentes del AMPR Paquera-Tambor

Didiher Chacón-Chaverri

El Golfo de Nicoya, en términos de población y áreas marinas y costeras, constituye la zona pesquera más importante de Costa Rica. Sus condiciones ambientales permiten mantener una gran biodiversidad, siendo una de las áreas marinas más estudiadas y al mismo tiempo donde más intensamente se aprovechan los recursos marinos disponibles por parte de sus pobladores. En el Golfo se localizan áreas de desove y crianza de especies marinas, siendo un semillero importante de biodiversidad (Chacón *et al.*, 2007).

Dentro del Golfo de Nicoya se encuentra el AMPR Paquera-Tambor, la cual se ubica en la región climática del Pacífico Norte, a su vez, forma parte de la Península de Nicoya. Este sitio presenta el basamento más antiguo de Costa Rica, constituyendo parte del Complejo de Nicoya en conjunto con el Golfo de Nicoya y la zona de Tárcoles (INCOPECA, 2014).

En la Figura 1 se pueden observar el sitio de estudio, las principales comunidades del AMPR Paquera-Tambor identificadas como vulnerables al cambio climático (Cabo Blanco, Gigante, Paquera, Pochote y Tambor) y la diversidad de hábitats presentes. Las zonas de manglar en el área son escasas, generalmente presentándose en las cercanías de las comunidades vulnerables al cambio climático, fortaleciendo la necesidad de restaurar y cuidar estas zonas.

El Complejo de Nicoya es de origen oceánico, con una composición de suelos sedimentaria compleja. El AMPR Paquera-Tambor está constituida por materiales de los períodos Cretácico, Terciario y Cuaternario, prevaleciendo las rocas volcánicas y sedimentarias del período Cretácico (INCOPECA, 2014).

La costa del Distrito Paquera-Tambor se caracteriza por poseer una cadena montañosa de poca altura (Blanco, 1994), definida como la Unidad Geomorfológica Serranías Sedimentarias del Sureste (INCOPECA, 2014). La zona costera del AMPR Paquera-Tambor difiere de la parte costera de la zona interna del Golfo de Nicoya, es más accidentada como resultado de las formaciones

montañosas ubicadas muy cerca de la costa, dando lugar a pequeñas bahías y acantilados (EPYPSA, 2014).

El AMPR Paquera-Tambor presenta una línea costera rocosa intercalada con playas arenosas y playas fangoso-arenosas, estando presentes algunos parches de manglar y una vasta cantidad de islas e islotes.

Cerca de la zona marino y costera del AMPR Paquera-Tambor se ubican cuatro áreas protegidas: el Refugio Nacional de Vida Silvestre de Isla San Lucas, la cual extiende sus límites hasta 6 metros de profundidad; la Reserva Biológica Islas Negritos y Guayabo; el Refugio Nacional de Vida Silvestre La Nicoyana; y el Refugio Nacional de Vida Silvestre de Curú (Figura 2). Además, 6 áreas de manglar limitan con el AMPR, estos se localizan en Gigante, Bahía de Paquera, Playa Órganos, RNVS Curú, Pochote y Pánica (Figura 3).

El AMPR Paquera-Tambor cuenta con un total de 15 islas, siendo las más grandes la Isla San Lucas (actualmente declarada Refugio Nacional de Vida Silvestre) e Isla Tortuga, la más frecuentada por los turistas. Algunas de las islas son nombradas de distinta forma por los lugareños. Por ejemplo, a Isla Muertos se le conoce como Gitana; a las Islas Negritos se les conoce por Isla Negritos e Isla Nancital; e Islas Tortugas, en realidad es un grupo de tres islas: Alcatraz, Talolinga y Morteros. Además, existe una serie de islotes que oficialmente no tienen nombre, pero los lugareños los conocen como los Caretos, el Mogote de la Virgen, Negro Chango y Barcino, entre otros.

El AMPR Paquera-Tambor registra 47 playas. No obstante, su número es mayor principalmente en las islas cuyos nombres no oficiales son reconocidos solamente por los lugareños (INCOPECA, 2014). Además, se registran 30 puntas y cabos, 6 parches de manglar, 6 esteros y la desembocadura del Río Pánica. Éstas 6 áreas de manglar cubren un total aproximado de 403 hectáreas (Ortiz, 2008) (Figura 3).

Los manglares del AMPR Paquera-Tambor están poco desarrollados y enfrentan una fuerte presión



Figura 1. Área Marina de Pesca Responsable Paquera-Tambor y comunidades costeras cercanas vulnerables al cambio climático.

antropogénica. El manglar que presenta la mayor cobertura vegetal es el de Paquera, con 218 hectáreas, y el de menor cobertura es el de Gigante, con 11 hectáreas. Es importante destacar que existe una serie de quebradas estacionales y pequeños ríos, como El Guarial, que desembocan en las zonas de manglar convirtiéndose en esteros (INCOPECSA, 2014).

Los ecosistemas marinos, con atención especial a los ecosistemas vulnerables, se identificaron por medio de una revisión bibliográfica y validación de campo, con énfasis particular sobre las zonas de manglar y de arrecife. Este trabajo

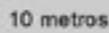
Proyecto:
"ADAPTACIÓN DE LA COMUNIDADES COSTERAS VULNERABLES ANTE LAS AMENAZAS INMINENTES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ÁREA DE PAQUERA, PUNTARENAS"

LEYENDA

Tipo

-  Bosque
-  Árboles dispersos
-  Manglar
-  Camaroneras
-  Salinas
-  Plantaciones
-  Cultivos estacionales
-  Pastos
-  Habitacional
-  Playa
-  Roca
-  Espejo de agua
-  Ríos y quebradas
-  Red vial

Curvas de nivel

-  10 metros
-  5 metros
-  2 metros



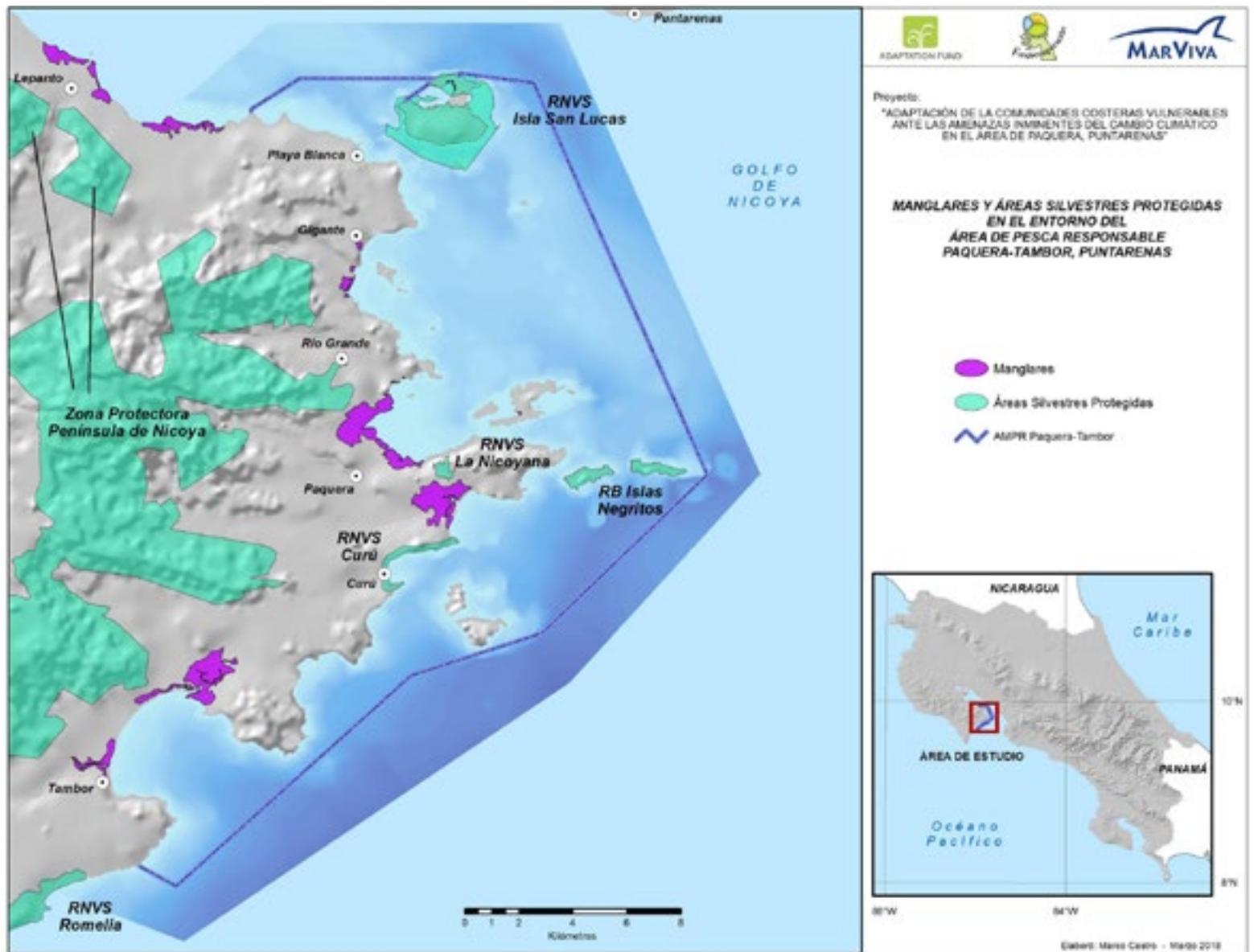
de verificación se realizó en colaboración con miembros de las comunidades costeras, utilizando dispositivos de GPS y ecosonda, para verificar la localización y profundidad de los mismos (Figura 3).

Esta zona posee una serie de acantilados, ubicados principalmente entre Punta Cuchillo y Playa Camarón, entre Playa Camarón y Playa Órganos, de Playa Quesera a Playa Curú y el más extenso que se extiende desde Punta Curú hasta Punta Cocos, en Bahía Tambor. Esta particularidad geomorfológica hace que la zona sea considerada como una de las más atractivas del Golfo de Nicoya, lo que fomenta la actividad turística en sus costas, teniendo un gran potencial para la diversificación productiva del sector pesquero artesanal de pequeña escala de esta área (INCOPECA, 2014).

En vista de que las AMPR representan son *"áreas con características biológicas, pesqueras o socioculturales importantes, las cuales estarán delimitadas por coordenadas geográficas y otros mecanismos que permitan identificar sus límites y en las que se regula la actividad pesquera de modo particular para asegurar el aprovechamiento de los recursos pesqueros a largo plazo y en las que para su conservación, uso y manejo el INCOPECA podrá contar con el apoyo de comunidades costeras y/o de otras instituciones"* (INCOPECA, 2008), es posible entonces proponer una serie de medidas desarrolladas junto con los actores locales para fortalecer la resiliencia social y ambiental ante el cambio climático.

El nacimiento del AMPR Paquera-Tambor surge a través del interés de varios grupos de la comunidad de Tambor, en donde la Asociación Paquereña para el Aprovechamiento de los Recursos Marinos (ASPARMAR), solicita a la Junta Directiva del Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA), la aprobación del AJDIP 64-2011, realizado el 04 de noviembre de 2011 (INCOPECA, 2011).

En este sentido, la propuesta para la creación del AMPR Paquera-Tambor es en respuesta a un modelo de gestión nuevo, amplio, participativo y coherente, con el fin de satisfacer las necesidades que actualmente están viviendo las comunidades pesqueras artesanales de pequeña escala en el Distrito de Paquera. Su plan de manejo establece que el principal objetivo de creación del AMPR es para contribuir con la sostenibilidad de recursos marinos y pesqueros dentro del Golfo de Nicoya (INCOPECA, 2014).



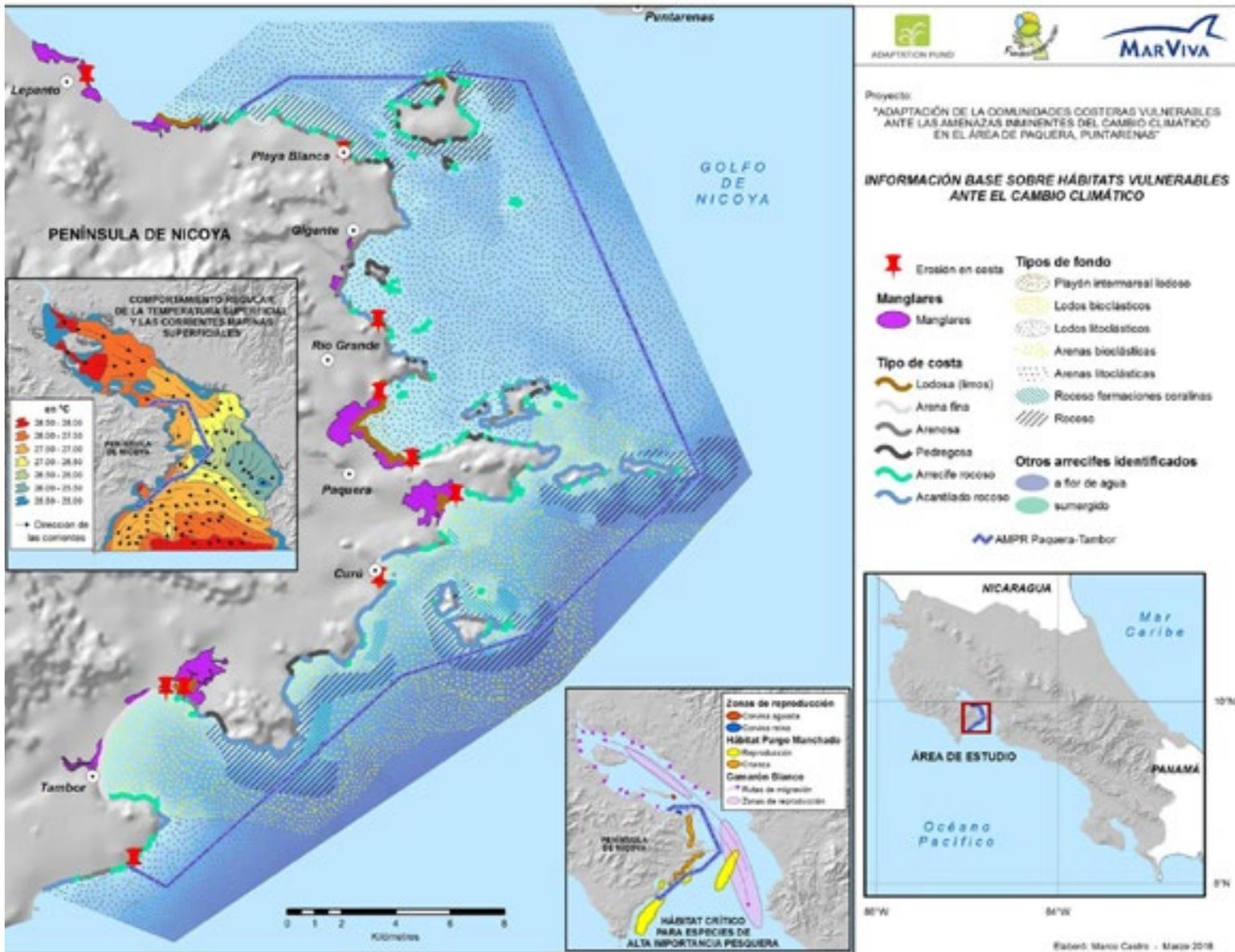


Figura 3. Ecosistemas marinos y costeros presentes en el AMPR Paquera-Tambor, comportamiento de la temperatura superficial y zonas de reproducción de especies de importancia comercial del Golfo de Nicoya.

Análisis oceanográfico

Omar Lizano Rodríguez

El cambio climático conlleva a una serie de otras alteraciones potencialmente dañinas para la pesca y la acuicultura, tales como: cambios en la salinidad del agua, acidificación, aumento en el nivel del mar, cambios en la concentración de oxígeno, incremento en la severidad y frecuencia de tormentas marinas, cambios en los patrones de corrientes marinas, cambios en los patrones de lluvia, cambios en los caudales de ríos, entre otros. Es de especial interés analizar cómo esto podría afectar al AMPR Paquera-Tambor para poder formular un panorama de las posibles afectaciones a las comunidades costeras del área.

Metodología

Para el análisis oceanográfico se consultaron diversas bases de datos (ver Apéndice) sobre precipitación, salinidad superficial del mar, temperatura superficial del mar, nivel del mar, clorofila, presión atmosférica en superficie, velocidad del viento, altura de ola y otras variables océano-atmosféricas, que pueden ser pertinentes para evaluar las condiciones ambientales del AMPR Paquera-Tambor. Los datos analizados se filtraron partiendo desde bases globales con el fin de ubicar las más pertinentes, según su resolución, a Paquera o frente al Golfo de Nicoya.

Para realizar el análisis, se accedió a una serie de variables océano-meteorológicas que son el resultado de modelos numéricos, observaciones y mediciones en tierra y en el océano, boyas oceánicas, satélites, derivadores lagrangeanos (derivan con las corrientes), entre otros (ver detalle en Apéndice). La zona de Paquera-Tambor representa una extensión pequeña para la generación de este tipo de información, generalmente este tipo de bases de datos cubren extensiones mayores. Por esto, la mayoría de los datos oceanográficos existentes son representativos de la parte externa del Golfo que, como debe inferirse, tienen relación con la productividad de las aguas en esta región, y al fin, con la pesca.

Se calcularon los promedios, máximos y mínimos de las series de datos y, lo que es más importante para este trabajo, la tendencia (pendiente de la recta) de esas series. Para esto último, se evaluó la robustez de esas tendencias mediante la técnica de regresión lineal (mínimos cuadrados), la cual permite identificar patrones claros en series de datos. Para esta regresión se utilizó la distribución t ($< \pm 1.645$, para una significancia del 95% para series con más de 100 valores (Blank, 1980)), utilizando el paquete informático MyStat®.

Las condiciones de erosión/acreción de las playas fueron determinadas a partir de visitas de campo, a fin de poder identificar patrones visibles que puedan indicar la ocurrencia de alguno de estos fenómenos. Se hizo una visita en diciembre del 2016, con el fin de analizar la condición de las playas vecinas de Paquera y Cóbano.

Se utilizaron imágenes LIDAR para generar los escenarios de aumento del nivel del mar. El LIDAR es un dispositivo que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie, tecnología con aplicaciones en el campo de la geología, sismología y física de la atmósfera. Los datos provenientes de LIDAR, facilitados por la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) fueron utilizados para generar modelos (escenarios) de la zona de Paquera-Tambor, utilizando el paquete informático TerraScan® para su procesamiento.

A partir de esta información, se hizo una revisión de los datos para extraer las elevaciones a nivel terrestre (sin vegetación ni infraestructura), con el fin de valorar la calidad del dato y la posibilidad de generar los modelos de elevación de alta resolución espacial. Se tomaron las fotografías aéreas de la zona y se generaron mosaicos con el fin de interpretar la información como un conjunto utilizando una cartografía con escala 1:500. Los programas de información geográfica utilizados para el análisis fueron QGIS y ArcGIS, generando el producto final presente en este estudio.

El análisis del aumento en el nivel del mar se hizo basado en el estudio AR5 del IPCC (2013). A la hora de proyectar los posibles cambios en el nivel del mar se usaron las proyecciones de Cazenave & Lovel (2010) y Dickson *et al.* (2007) de 0,40 m de aumento del nivel del mar para el 2050 y de 1,20 m de aumento del nivel del mar para el 2100, estos rangos se seleccionaron con el fin de generar escenarios de niveles máximos en el sitio del proyecto.

Los escenarios máximos de inundación en la zona de interés se calcularon utilizando el promedio de las mareas más altas registradas por la estación mareográfica de Puntarenas, es decir 2.80 m. Esto permite hacer una proyección de cómo se combinaría esta altura de marea con el aumento en el nivel del mar.

Adicionalmente, los niveles del mar se midieron con un mareómetro manual, permitiendo tener información más fina para la zona. Esas mediciones se coordinaron con predicciones en el sitio, calculadas con el paquete informático Tidal & Currents (Lizano, 2016). Este trabajo permite ajustar los niveles del mar al promedio de bajamares de sicigia (Lizano, 2016), o nivel "0" (cero) de la tabla de mareas. Los niveles fueron luego trasladados a la base de datos de mediciones topográficas, de manera que sus alturas también estuvieran ajustadas al "0" de la tabla de mareas, para así elaborar los escenarios de nivel del mar.

Efectos del cambio climático sobre condiciones oceanográficas

Temperatura

El incremento de la temperatura tendrá un efecto directo en la distribución de muchas especies (Southward *et al.*, 1995). La velocidad del cambio sobre la distribución de las mismas podría acelerarse o retardarse de acuerdo al efecto que tengan los cambios en la atmósfera sobre las corrientes o la estacionalidad. Si se dan modificaciones sustanciales en la distribución estacional de las isothermas (líneas de igual temperatura en la columna de agua), se podrían afectar las rutas migratorias de las especies y, secundariamente, la pesquería.

Los cambios en temperatura también generarían una tendencia a la proliferación de especies subtropicales,

creando competencia interespecífica para las especies de nuestras costas. Estos cambios en la distribución de especies afectan no sólo a la aparición de especies de afinidad subtropical, sino también a un incremento del riesgo de invasión por especies exóticas de origen subtropical introducidas de forma accidental (Anadon, 2009).

Asimismo, el aumento de las temperaturas también afectará a los procesos fisiológicos de los peces, dando lugar a efectos tanto positivos como negativos sobre las pesquerías y los sistemas de acuicultura (OLDEPESCA, 2009).

Salinidad

El efecto combinado de los cambios de temperatura y de salinidad resultantes del calentamiento global reducirían la densidad de la superficie del océano, aumentarían la estratificación vertical (división de las capas en la columna de agua) y se registrarían modificaciones en la mezcla de la capa superficial. Es probable que, a consecuencia del incremento de la estratificación vertical y de la estabilidad de la columna de agua (poco o ningún intercambio) en los océanos, se reduzca la disponibilidad de nutrientes en la zona eufótica (zona alumbrada) ya que se dificultaría el flujo de nutrientes a través de la columna de agua y que la producción primaria y secundaria disminuya (FAO, 2008).

El previsible incremento del periodo de estratificación o el cambio en procesos de mesoescala (afloramientos, frentes de corrientes, corrientes costeras) pueden modificar de manera significativa la capacidad productiva del océano, disminuyendo o incrementando la producción primaria (Richardson & Schoeman, 2004).

Clorofila

Las observaciones globales por satélite documentan baja clorofila (relacionada con las microalgas) en las grandes corrientes giratorias de los océanos. A su vez se registra una relación inversa entre las anomalías en la temperatura de la superficie del mar y las concentraciones de clorofila del fitoplancton (Behrenfeld *et al.*, 2006).

La temperatura del agua influencia directamente el crecimiento del fitoplancton y su razón metabólica. La producción aumenta con el aumento de la temperatura,





Fotografía por Erick Ross Salazar,
Fundación MarViva.

hasta alcanzar un máximo específico para cada especie, después del cual las tasas disminuyen rápidamente (Henson *et al.*, 2010). Esto significa que, al aumentar la temperatura en la superficie del mar, inicialmente se da un aumento en la producción y crecimiento del fitoplancton. Sin embargo, después de alcanzar un punto máximo, esta producción cae significativamente. Por ende, el aumento continuo en la temperatura del mar, causará una reducción en la productividad marina a largo plazo.

Oxígeno disuelto

Como consecuencia del calentamiento global, se cree que el océano se volverá menos oxigenado. El aumento en la temperatura hace que el oxígeno tenga menor capacidad de solubilidad, lo cual se sumaría al aumento en la estratificación oceánica en la capa superficial (Anadón, 2009; Lizano, 2016). Esto implicaría que habría menos oxígeno disuelto en el mar disponible para los organismos vivos.

Mayores afectaciones se podrían dar, por ejemplo, durante un Fenómeno de El Niño. En este caso, la temperatura puede llegar a valores extremos lo que conllevaría a valores muy bajos de oxígeno disuelto que podrían ser letales para las especies y/o afectar su crecimiento (FAO, 2011).

Potencial hidrógeno (pH)

El aumento del dióxido de carbono (CO₂) está causando una acidificación del agua de mar, reflejada en una disminución detectable del pH del agua de mar (Caldeira & Wickett, 2003). En los mares existe una diversidad de organismos con esqueletos calcáreos como moluscos bivalvos, corales formadores de arrecifes y algunas especies de zooplancton y fitoplancton. Se prevé que, dentro de los próximos cincuenta años, esta acidificación será suficiente como para reducir de forma sensible e incluso detener la deposición de carbonatos en los esqueletos y conchas calcificadas de estos organismos con esqueletos o conchas calcificadas. Este hecho hace que estos organismos sean más vulnerables. A más largo plazo, para las concentraciones de CO₂ esperadas a finales del siglo XXI, la disminución del pH será suficientemente intensa como para iniciar la disolución de carbonatos en las aguas costeras lo que afectaría la absorción de CO₂ por el océano (Anadón, 2009).

El caso de temperaturas extremas durante el fenómeno de El Niño, podría producir evaporación y generar una mayor concentración de carbonatos, alcalinizando el agua (menos ácidas), lo que resultaría en estrés para los organismos marinos.

Nivel del mar

El aumento del nivel del mar contribuye a aumentar los impactos en las zonas costeras, incluyendo la erosión, inundación de zonas someras, aumentar los daños por tormentas, modificación de los estuarios y de los hábitats, modificación de los niveles freáticos e intrusión salina en los cauces fluviales y aguas subterráneas. En combinación con cambios en el clima marítimo, la erosión, la inundación, tanto la temporal como la permanente, y la afección a las obras marítimas y la exposición de los puertos, son consecuencias directas de los cambios en las dinámicas costeras.

Entre otros elementos, los lugares de desembarque para productos pesqueros, embarcaciones y sistemas de cultivos marinos, así como la infraestructura en la línea de costa en las aguas costeras, se podrán ver afectados por cambios tanto en las condiciones medias (ej. temperatura), como en las extremas (ej. oleaje y nivel del mar en tormentas). Estos problemas en concreto tienen un carácter global y sin duda, se están viendo acrecentados por el efecto del cambio climático (Anadón, 2009).

Precipitación

Dado que las descargas de los ríos responden a cambios en los regímenes de precipitación, el cambio climático puede afectar, en última instancia, el flujo y la calidad del agua dulce que son insumos para los hábitats marinos y costeros (Osborn *et al.*, 2000; Roessig *et al.*, 2004; Graham & Harrod, 2009).

Se habla de un refrescamiento del Océano Pacífico (disminución de la salinidad), debido a un incremento de la actividad del ciclo hidrológico (Bindoff *et al.*, 2007). El Pacífico Tropical Este posee el menor mínimo de salinidad de los océanos tropicales, influencia que puede alcanzar los 95° de longitud Oeste, incluyendo los mares de Costa Rica, mínimo que parece estar refrescándose (Lizano, 2016).

Viento

Variaciones en la circulación atmosférica repercuten en las corrientes marinas y éstas pueden modificar el transporte y supervivencia de los estadíos larvarios y juveniles de muchas especies marinas. A mayor escala pueden introducir cambios en la cadena trófica. Indirectamente, los cambios climáticos también afectan a los sistemas marinos. La producción marina, primaria y secundaria, puede verse afectada y con ello los alimentos disponibles para las larvas de peces, lo que determinará el grado de éxito del reclutamiento y a mediano plazo, el tamaño de las poblaciones (GLOBEC, 2003; ICES, 2003).

Oleaje

Existe la posibilidad de tener varios fenómenos océano-atmosféricos superpuestos, es decir que sus efectos combinados causan una mayor afectación (Lizano & Salas, 2001; Lizano & Lizano, 2010). Así, las inundaciones en la costa pueden ser una combinación entre el nivel del mar, las sobreelevaciones debidas al efecto del viento y de la presión atmosférica, y la contribución del oleaje. Igualmente, en los problemas de erosión, la contribución entre el nivel del mar y los cambios en el oleaje generan distintos problemas de erosión, en muchos casos combinados y exacerbados por la intervención acción humana en la costa (FAO, 2012).

Al mismo tiempo, cambios sostenidos en el tiempo en las condiciones de oleaje pueden provocar alteraciones en el balance sedimentario y erosión costera.

Proyecciones estadísticas de los cambios en las alturas de las olas oceánicas, utilizando la información sobre la presión atmosférica superficial del mar de los modelos climáticos globales CMIP5 (Modelo de Inter-comparación Compartida 5), muestran aumentos significativos de la altura de las olas en los trópicos, especialmente en el Pacífico Tropical Este (Wang et al., 2014).

Circulación oceánica

Las variaciones del clima y el cambio climático pueden tener efectos directos sobre el océano, al variar los flujos de energía y gases con la atmósfera, la cantidad de calor y sales que transporta (temperatura y densidad), y la formación y extensión de hielos marinos (Anadón, 2009),

produciendo un cambio a la circulación de la atmósfera, la cual a la vez produce un cambio en la dinámica oceánica (Steward, 2008).

Estos eventos pueden provocar cambios en la circulación termohalina del océano (Broecker, 1997). Esto reducirá al transporte de calor entre el Ecuador y los polos. Esta situación podría provocar cambios climáticos muy rápidos.

Un segundo efecto indirecto podría ser la generación de cambios en la disposición de altas y bajas presiones atmosféricas, provocando cambios en la intensidad de los vientos. Esta situación generaría cambios en las corrientes marinas, su distribución y estacionalidad, y también en el oleaje. Los cambios en las condiciones hidrodinámicas tendrían un efecto directo sobre los ecosistemas y la biodiversidad marina. Esto modificaría la distribución de la temperatura y de los nutrientes en las capas superiores del océano, la producción primaria marina y, en definitiva, la red trófica marina, entre los que se encuentran nuestros principales recursos, los peces, los moluscos y los crustáceos (GLOBEC, 2003).

Golfo de Nicoya

La principal fuente de nitrógeno y fósforo en el Golfo de Nicoya es el Agua Sub-superficial Ecuatorial (ESW, por sus siglas en inglés), mezclada en la columna de agua por los vientos y la turbulencia e importada al Golfo por la acción del viento (Chaves & Birkicht, 1996).

La turbidez y el oxígeno disuelto en la parte interna del Golfo parecen estar fuertemente asociados a las descargas de agua dulce y materia orgánica del Río Tempisque. Esta alta turbidez coincide con una disminución estacional del oxígeno disuelto, probablemente causada por la descomposición de la materia orgánica en el sistema por el Río Tempisque. La descarga del mismo puede elevar las concentraciones de sólidos suspendidos a 800 mg/l en la parte interna durante la temporada de lluvias (Kress et al., 2002).

Las concentraciones de oxígeno disuelto tienden a ser débilmente anti-correlacionadas con concentraciones de clorofila (Kress et al., 2002). Esto quiere decir que la anti-correlación puede sugerir que el oxígeno consumido durante la descomposición sub-superficial de la materia orgánica excede el oxígeno producido por fotosíntesis y

liberado por mezcla con la atmósfera (Palter et al., 2007), esto significa que se consume más oxígeno que el que se produce.

En los trópicos, durante los períodos de alta descarga de los ríos, la oxidación de material orgánico fino en las aguas de un estuario comúnmente lleva a la sub-saturación de oxígeno (Eyre & Balls, 1999). La estratificación vertical de la salinidad también juega un papel en la reducción de la concentración de oxígeno del Golfo de Nicoya, ya que la entrada de agua dulce puede reducir el intercambio de gas con las aguas de fondo (Palter et al., 2007).

El Golfo de Nicoya es un ecosistema que ha sido sobre-explotado, provocando una reducción de las poblaciones reproductoras de especies comerciales, lo que tiende a generar fallos en el reclutamiento. El uso de artes de pesca que no permiten un primer desove en las especies y el excesivo esfuerzo de pesca trae consigo la reducción de las tallas de los especímenes. La pesca desmedida de los consumidores primarios (anchoas, sardinas, camarones) deja sin alimento a los depredadores (corvinas, robalos, pargo mancha, barracuda, jureles y otros), los cuales tendrán que emigrar en busca de otras zonas de alimentación. Conforme los efectos del cambio climático vayan incrementando, la presión sobre los recursos del Golfo será mayor (BIOMARCC-SINAC-GIZ, 2013b).

Análisis de series de tiempo oceano-meteorológicas del Golfo de Nicoya

Temperatura superficial del mar (TSM)

Un análisis de las cinco series históricas de la TSM utilizadas en este estudio muestran promedios similares. La serie denominada HADLEY muestra mayor variabilidad en los valores de TSM al igual que presenta el valor mínimo menor y el valor máximo mayor. La serie de Copernicus, la cual tiene la mayor resolución espacial y con valores tomados más cerca del área de estudio, tiene el promedio de TSM más alto.

Todas las series muestran que los máximos relativos de temperatura se alcanzaron durante años con presencia

del fenómeno El Niño, como por ejemplo en los años 1981-1982 y 1997-1998, con la máxima lectura de 34,26°C (serie HADLEY, Cuadro 1).

Todas las series históricas analizadas muestran una tendencia positiva. Solo la serie GODA carece de suficientes datos para considerarse robusta significativamente. Estos resultados refuerzan la evidencia de que la TSM está aumentando frente a esta región y dentro del Golfo.

Todas las series históricas analizadas muestran una tendencia positiva. Solo la serie GODA carece de suficientes datos para considerarse robusta significativamente. Estos resultados refuerzan la evidencia de que la TSM está aumentando frente a esta región y dentro del Golfo.

Salinidad

Los promedios de las series históricas de salinidad son similares (31,6 a 33,7 psu), reflejando en sus mínimos (27,7 a 30,51 psu) la influencia de las descargas de agua dulce del Golfo de Nicoya, a los valores reportados por Peterson (1958) y Brenes & Chaves (2001). El menor valor de salinidad lo muestra la serie de Copernicus, posiblemente porque su toma de datos está más cerca de la desembocadura del Río Grande de Tárcoles, el cual aporta gran cantidad de agua dulce al Golfo de Nicoya y, por ende, reduce su salinidad.

Casi todas las series muestran una tendencia negativa, siendo las series de HADLEY y GODA las de mayor robustez estadística. La serie de mayor resolución espacial de Copernicus y dentro del Golfo, muestra una tendencia positiva y estadísticamente robusta.

Clorofila

La serie de datos de clorofila más larga estudiada (CMIP5), calcula la producción primaria de carbono orgánico (todo tipo de fitoplancton), muestra una tendencia positiva y robusta estadísticamente (Cuadro 2). Sin embargo, su resolución es muy gruesa (representa 1° en el mapa) y su centro está más alejado del Golfo.

Las series de los satélites SeaWiFS y MODIS, que tiene alta resolución espacial y representan la región al frente de Paquera, muestran una tendencia negativa, pero no son robustas estadísticamente (Cuadro 2). Esto significa

Cuadro 1. Estadísticas de las variables océano-meteorológicas en el Golfo de Nicoya y su zona de influencia.

Características	Promedio	Mínimo	Máximo	Desv St
Temperatura del mar HADLEY (°C)	28,06	22,97	34,26	1,19
Temperatura del mar ECMWF (°C)	27,95	25,04	30,75	1,01
Temperatura del mar WHOI (°C)	28,19	25,89	30,5	0,82
Temperatura potencial del mar GODA (°C)	301,19	298,09	303,53	0,86
Temperatura del mar Copernicus	30,40	25,17	34,17	1,49
Salinidad HADLEY (psu)	33,68	30,53	34,83	0,49
Salinidad del mar GODA (Kg/Kg)	0,03218	0,02849	0,03411	0,001
Salinidad del mar ECMWF (psu)	31,61	27,69	34,09	1,03
Salinidad del mar Copernicus	31,50	25,00	34,33	1,48
Oxígeno disuelto Copernicus	207,06	197,15	219,58	3,76
Fitoplancton CMIP5 (mol m ⁻² s ⁻¹)	0,69	0,54	0,89	0,05
Concentración de clorofila SeaWiFS (mg/m ³)	7,33	0,13	57,75	6,38
Concentración de clorofila-a MODIS (mg/m ³)	10,16	1,43	44,23	7,25
Nivel del mar ECMWF (m)	0,33	0,16	0,68	0,07
Anomalía del nivel del mar TOPEX (m)	0,35	-17,25	21,91	7,89
Precipitación CPC (0.1x mm/día)	75,14	0	258,76	49,16
Precipitación CAMS-OPI y OLR (mm/día)	7,02	0,62	16,30	3,98
Precipitación CAMP (mm/día)	6,61	0,5	17,81	4,19
Presión atmosférica ICOADS (mb)	1010,34	1005,47	1017,50	1,39
Presión atmosférica NCEP2 (Pasc)	101090,81	100868,0	101324,0	69,23
Velocidad del viento ICOADS (m/s)	4,61	2,04	7,70	1,46
Velocidad del viento NCEP2 (m/s)	3,78	1,27	9,08	1,58
Velocidad del viento WHOI (m/s)	3,09	1,66	8,06	0,93
Altura de ola (H1/3) (m)	1,36	0,19	3,67	0,37
Periodo de ola (s)	12,92	2,58	23,58	2,64
Humedad relativa ICOADS (%)	81,47	58,10	100,00	6,19
Razón de evaporación WHOI (cm/año)	101,55	46,60	345,80	39,17
Humedad específica WHOI (g/Kg)	17,72	15,23	19,66	0,79
Flujo de calor sensible WHOI (W/m/m)	13,50	6,30	27,60	3,22
Flujo de radiación neta de onda larga WHOI (W/m/m)	63,31	11,3	98,40	16,76

que estas series tienen mayor detalle, pero la cantidad de datos no es suficiente para considerarlas estadísticamente fuertes.

Lo mismo ocurre con el estudio adicional con la serie Copernicus de clorofila. Esta tiene alta resolución, se encuentra en la parte externa del Golfo y muestra una tendencia negativa, pero tampoco es robusta estadísticamente.

Nivel del mar

El análisis de las series de tiempo del nivel del mar indica que existe una tendencia positiva (ECMWF) y otra negativa (TOPEX). Ninguna de las series es estadísticamente robusta, por lo que no se puede inferir ningún escenario de cambio de estos datos.

Cuadro 2. Estadísticos de la regresión lineal de las variables océano-meteorológicas.

Características	t-student
Temperatura del mar HADLEY (°)	8,344
Temperatura del mar ECMWF (°)	12,328
Temperatura del mar WHOI (°)	5,717
Temperatura del mar GODA (°)	1,435
Temperatura del mar (Copernicus)	9,400
Salinidad HADLEY (psu)	-3,672
Salinidad GODA (Kg/Kg)	-8,947
Salinidad ECMWF (psu)	-1,440
Salinidad Copernicus	3,860
Oxígeno disuelto Copernicus	0,641
Fitoplancton CMIP5 (mol m ⁻² s ⁻¹)	3,096
Concentración de clorofila SEAWIF (mg/m ³)	-0,008
Concentración de clorofila-a MODIS (mg/m ³)	-1,419
Concentración de clorofila Copernicus	-0,736
Nivel del mar ECMWF (m)	0,614
Anomalia del nivel del mar TOPEX (m)	-1,129
Precipitación CPC (0.1x mm/día)	-0,694
Precipitación CAMS-OP1 y OLR (mm/día)	-9,561
Precipitación CAMP (mm/día)	-2,080
Presión atmosférica ICOADS (mb)	1,095
Presión atmosférica NCEP2 (Pasc)	-2,159
Velocidad del viento ICOADS (m/s)	7,201
Velocidad del viento NCEP2 (m/s)	5,283
Velocidad del viento WHOI (m/s)	18,300
Altura de ola (H _{1/10}) (m)	19,587
Periodo de ola (s)	54,016
Humedad relativa ICOADS (%)	0,957
Razón de evaporación WHOI (cm/año)	13,784
Humedad específica WHOI (g/Kg)	1,508
Flujo de calor sensible WHOI (W/m/m)	5,855
Flujo de radiación neta de onda larga WHOI (W/m/m)	1,434



Figura 4. Variación del nivel del mar en la punta de Puntarenas.

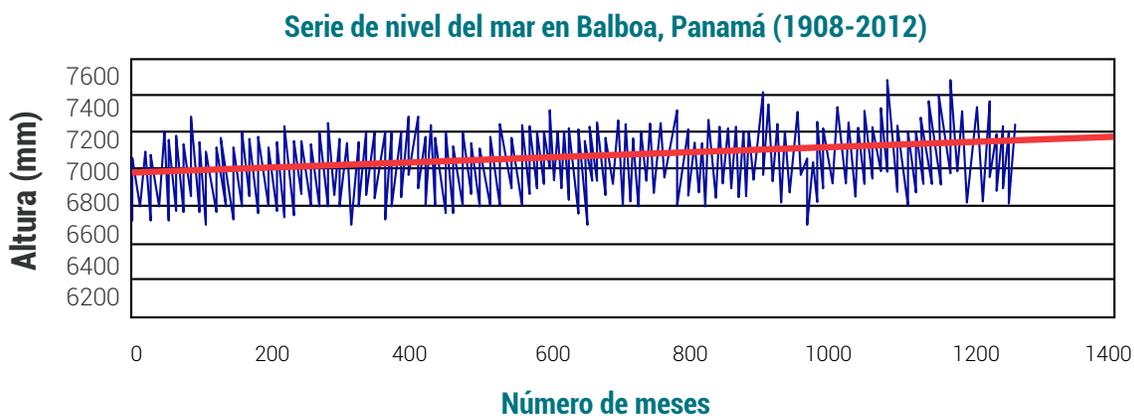


Figura 5. Variación del nivel del mar en Balboa, Panamá.

Sin embargo, un estudio más local sobre los datos del mareógrafo de Puntarenas, muestra una tendencia positiva en el aumento del nivel del mar y estadísticamente robusta ($t = 9,14$, al 95% de significancia) (Figura 4).

Para asegurar que la tendencia observada en el mareógrafo de Puntarenas es real, se hizo un análisis adicional con la serie del mareógrafo de Balboa en Panamá (valor estadístico t al 95% de significancia de 14,343) (Figura 5). La tendencia en ambos mareógrafos es positiva y sigue patrones similares.

Precipitación

El Cuadro 1 muestra que las series de datos de precipitación estudiadas tienen promedios similares, siendo la serie más larga y de mayor resolución espacial (CPC), la que tiene mayor desviación estándar.

Todas estas series de datos muestran una tendencia negativa, es decir menor precipitación con el transcurso de los años. Las series de datos más cortas (CAMS_OPI, OLR y CMAP) son robustas estadísticamente, es decir tienen mayor cantidad de datos, por lo cual su análisis permite inferir mejor las tendencias. La serie de datos más larga, la CPC, muestra una tendencia positiva, pero no es robusta estadísticamente pues carece de suficientes valores. En Costa Rica, tanto en la vertiente del Caribe como en la vertiente del Pacífico, hay una tendencia negativa de precipitación en al menos el 75% del territorio nacional (Brenes & Saborío, 1994). Estudios más recientes, de mayor resolución espacial con estaciones en tierra (Hidalgo *et al.*, 2016), indican que hay una tendencia negativa de precipitación en las regiones adyacentes al Golfo de Nicoya. Esto demuestra que los análisis particulares que se han hecho para este trabajo, para posiciones oceánicas, son consistentes con estudios más formales y precisos en tierra.

Viento

Las series históricas estudiadas muestran una tendencia positiva y son estadísticamente robustas, por lo que se puede asegurar que el viento está aumentando frente a la región del Golfo de Nicoya. Particularmente la serie WHOI, muestra una tendencia positiva muy marcada a partir del año 2002 (Figura 6).

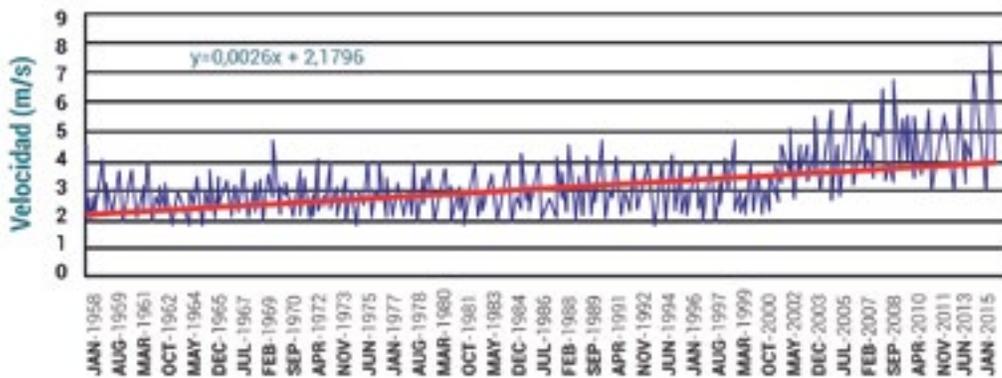


Figura 6. Serie histórica WHOI de la velocidad del viento (84,5°O, 9,5°N).

Oleaje

La serie de la altura y período de la ola muestra una tendencia positiva y robustez estadística. La serie de períodos de olas muestra un cambio significativo en los períodos de las olas aproximadamente a partir del 2010, con períodos más largos de las olas. Esto significa menos formación de tormentas locales y más energía de oleaje desde tormentas remotas.

Otras variables oceanográficas

Las variables adicionales estudiadas, que pueden servir para explicar algunos procesos que se están dando en la región y/o para plantear escenarios futuros (ej. humedad relativa, razón de evaporación, flujo de calor sensible, flujo de radiación neta de onda larga), muestran tendencias positivas frente al Golfo de Nicoya.

De ellas, las series de la razón de evaporación (WHOI) y el flujo de calor sensible son estadísticamente robustas. Las tendencias de estas variables son coherentes con un aumento de temperatura superficial del océano en la zona.

Erosión costera

En la Figura 7 se aprecian sitios bajo riesgo de erosión costera en el AMPR Paquera-Tambor identificados durante las visitas de campo.

Atracadero de Paquera: no muestra evidencia de erosión visible, ni tampoco sus alrededores. Este sitio tiene la topografía necesaria para reubicar el sitio del atracadero en la medida que aumente el nivel del mar.

Manglar en Lepanto: esta zona es inundada durante las mareas altas, con ascenso en el nivel del mar, se tendrá mayor inundación en esta zona. Al menos 5 casas están en riesgo de inundación más frecuente.

Playa Blanca: tiene problemas de erosión. Los vecinos indican que el mar se está metiendo más a menudo en los últimos años.

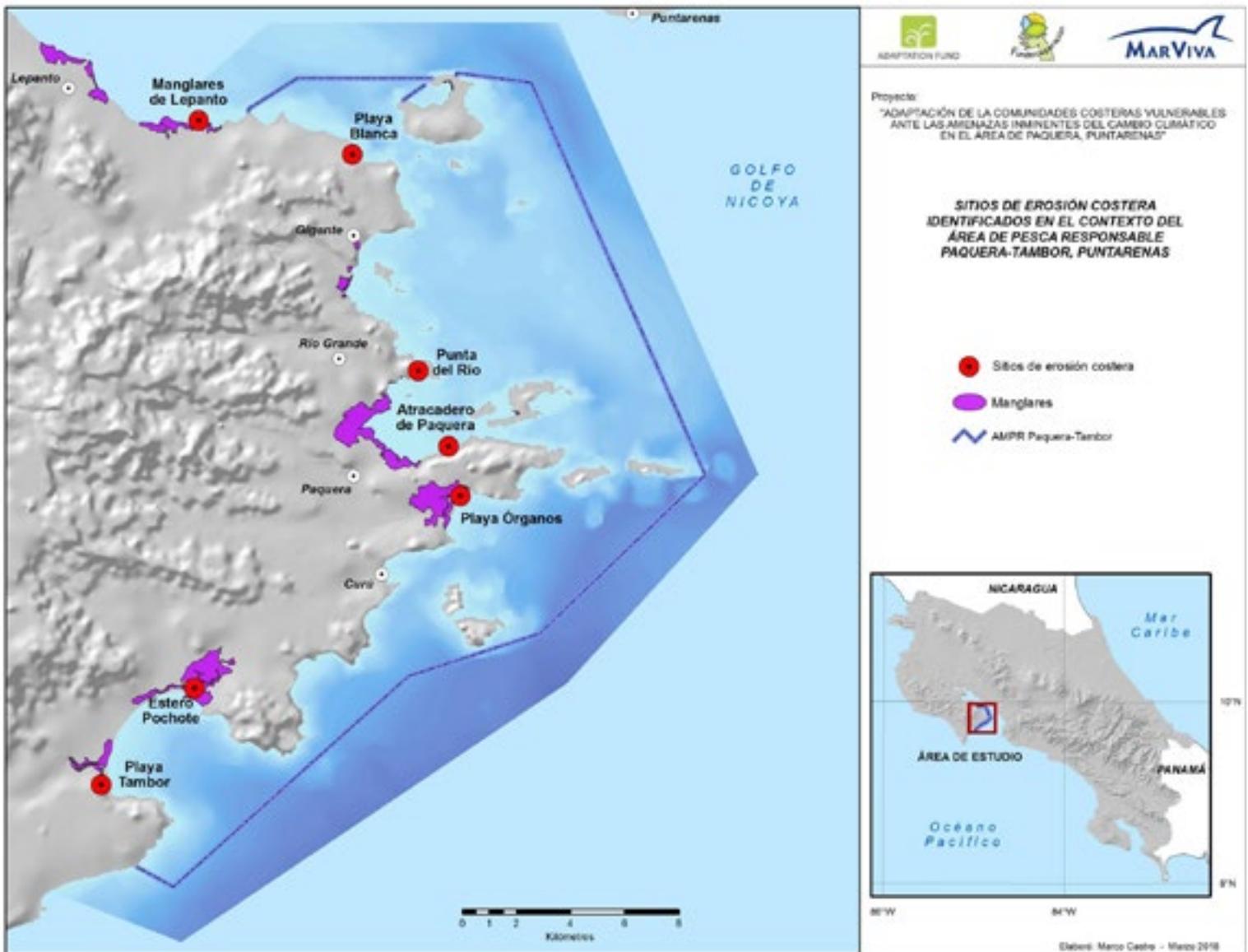


Figura 7. Sitios bajo riesgo de erosión costera en el AMPR Paquera-Tambor.



Punta del Río: playa con problemas de erosión. El camino paralelo a la playa presenta riesgo de erosionarse en el futuro. Cuatro casas muestran riesgo de inundación más frecuente con ascenso en nivel del mar (Figura 8).

Playa Órganos: no muestra erosión. Tiene buen perfil de playa, al ser una bahía cerrada y tener fuentes de sedimentos (río), su playa muestra un perfil de equilibrio estable.

Figura 8. Playa de Punta del Río, Golfo de Nicoya
Fotografía por Omar Lizano.



Figura 9. Playa Tambor, Bahía Ballena, Golfo de Nicoya. **Fotografía por** Omar Lizano.

Estero Pochote: caserío en peligro de inundación frecuente, más aún con aumento del nivel del mar. Es necesario reubicar este asentamiento. La playa al este del estero muestra ligera erosión actualmente.

Playa Tambor: la playa en la bahía tiene bermas viejas (lomos de arena), indicativo de deposición de sedimentos en tiempos pasados. Esta bahía tiene buenas fuentes de sedimentos (ej. Río Pánico), lo cual creará una playa con retroceso muy lento con el aumento futuro del nivel del mar. A futuro, podría estar en riesgo de inundación el caserío en el atracadero de Tambor (Figura 9).

Escenarios del nivel del mar

Los resultados de las visitas de campo para analizar los escenarios de cambios en el nivel del mar en el AMPR Paquera-Tambor se presentan a continuación:

Paquera: los escenarios de nivel del mar para este sitio son de 3,2 y 4,0 m sobre el nivel del mar. Es claro que, para estos dos escenarios, el atracadero de Paquera se inunda. Sin embargo, la topografía propia del sitio y sus alrededores permite levantar el nivel topográfico del atracadero cada vez que sea necesario (Figura 10 y Figura 11).

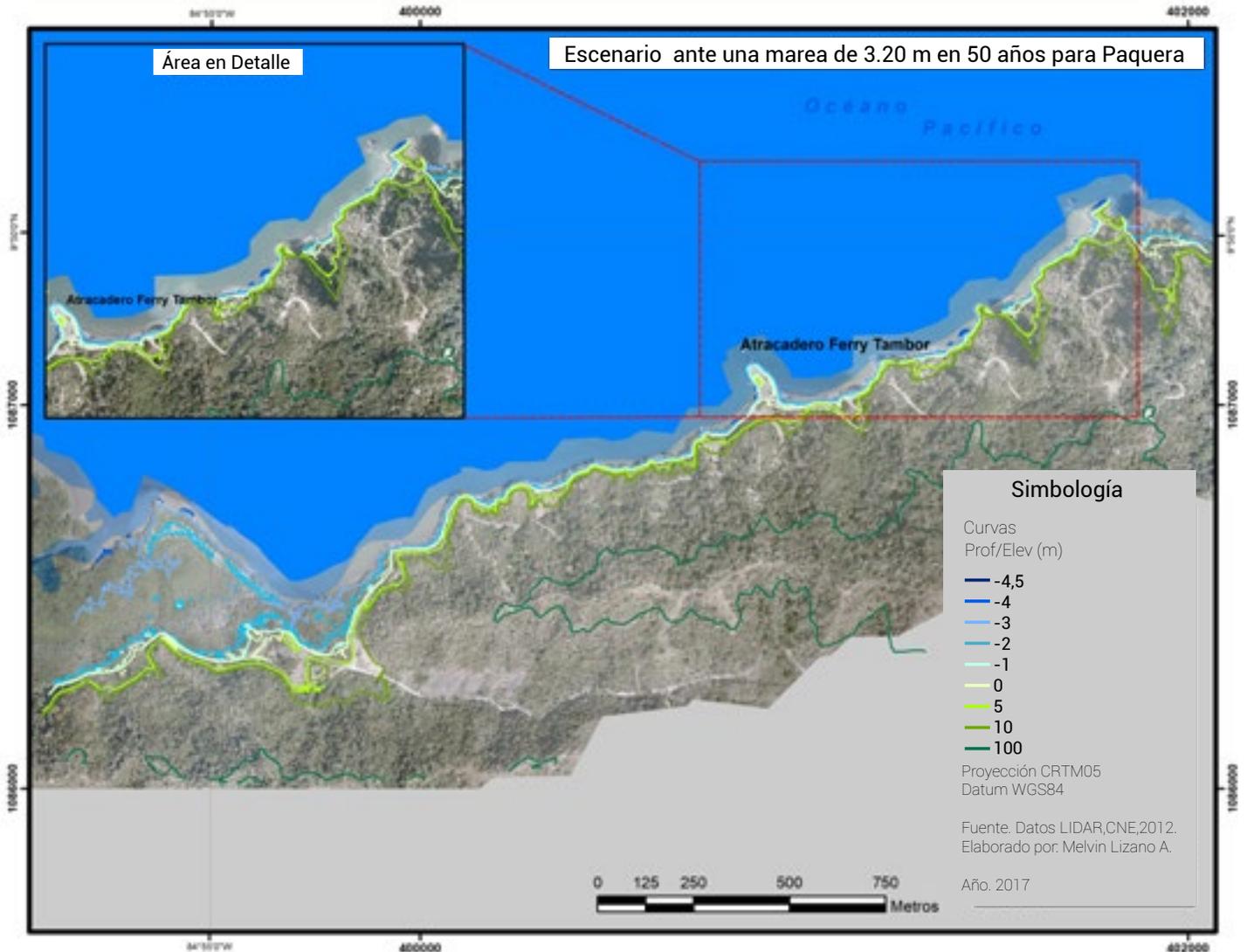


Figura 10. Escenario ante una marea de 3,2 m en 50 años en Paquera.

Pochote: con una marea o nivel de 3,2 m prácticamente todo este caserío se inunda. Solo queda una pequeña área al final de la calle que llega al estero, que no se inundaría. Para un escenario de 4,0 m, todo el caserío se inunda, quedando la mayoría entre 1 y 2 metros bajo el agua. En la Figura 12 y Figura 13 se puede identificar el alcance del nivel de agua en las regiones vecinas, donde se proyecta una gran pérdida de terreno con estos escenarios futuros.

Tambor: hacia el oeste de Bahía Ballena, los escenarios muestran que las casas construidas ahí van a tener niveles frecuentes de inundación, tanto para los escenarios de 3,2 m como de 4,0 m. Son identificables, también, los niveles

de inundación que tendrán las regiones vecinas de esta Bahía, donde habrá definitivamente un retroceso del borde de costa, producto de la erosión del oleaje (Figura 14 y Figura 15).

Impacto en los ecosistemas

El anterior análisis de variables oceanográficas y climáticas permite interpretar que hay muchas de estas que estadísticamente muestran una tendencia a aumentar en la región al interior del Golfo de Nicoya y frente al mismo. La salinidad y la temperatura superficial del agua, así como sus variables asociadas, tales como

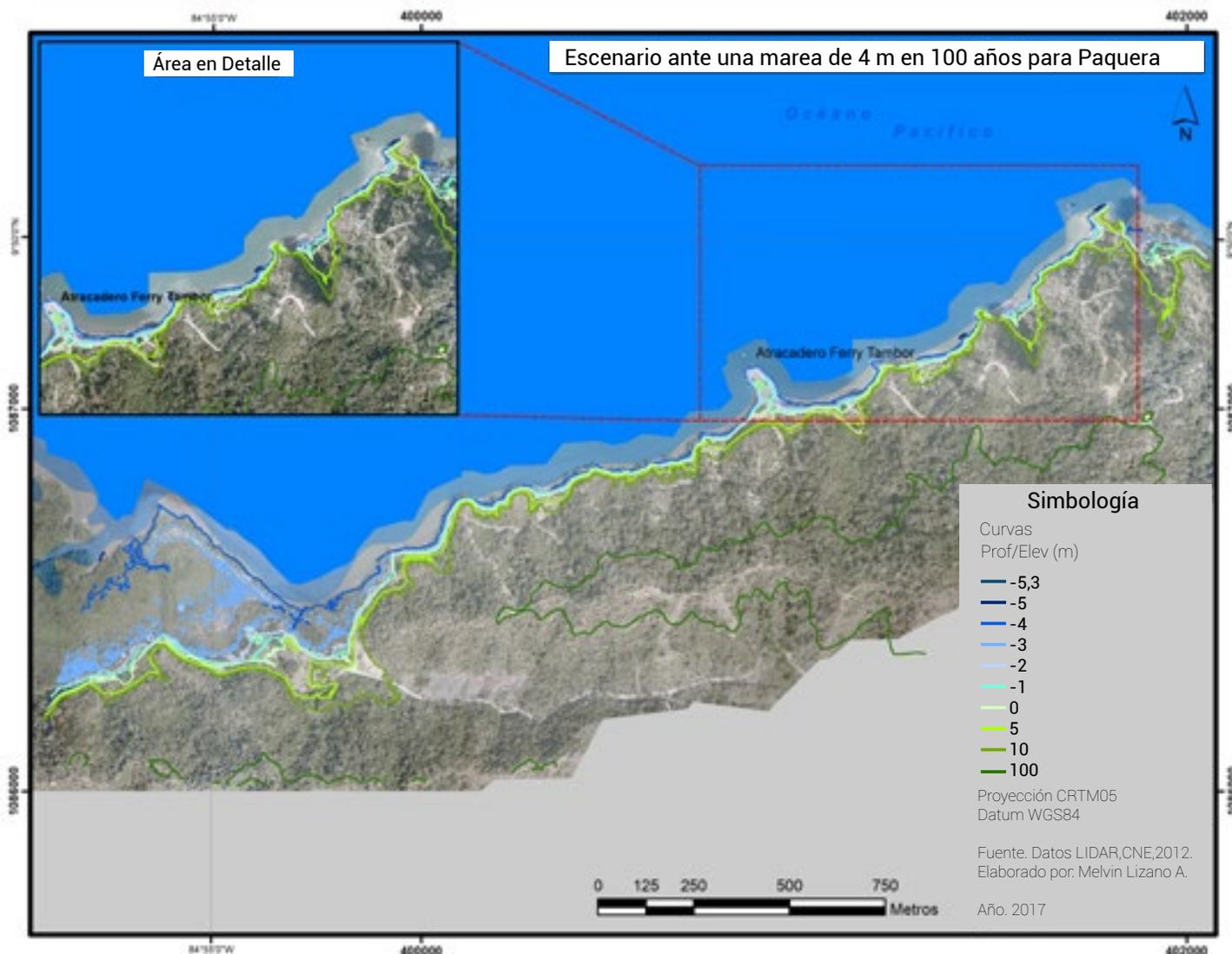


Figura 11. Escenario ante una marea de 4 m en 100 años en Paquera.

la evaporación y el calor sensible tenderán a aumentar, lo cual es coherente con una disminución en la precipitación.

Estos factores generan mayor estratificación vertical en las aguas del Golfo (exterior e interior), lo cual provoca una menor capacidad de mezcla en la columna de agua.

Esto conlleva a un menor transporte de nutrientes, desde capas sub-superficiales y desde afloramiento locales (Brenes et al., 2003), o desde las mismas aguas sub-superficiales que penetran el Golfo y que son una de las mayores fuentes de nutrimentos en el Golfo (Palter et al., 2007).

En la comunidad científica existe el consenso de que el planeta se calentará entre 1,1°C y 4°C en el próximo siglo (IPCC, 2013). Esto tendrá mayores repercusiones en las pesquerías

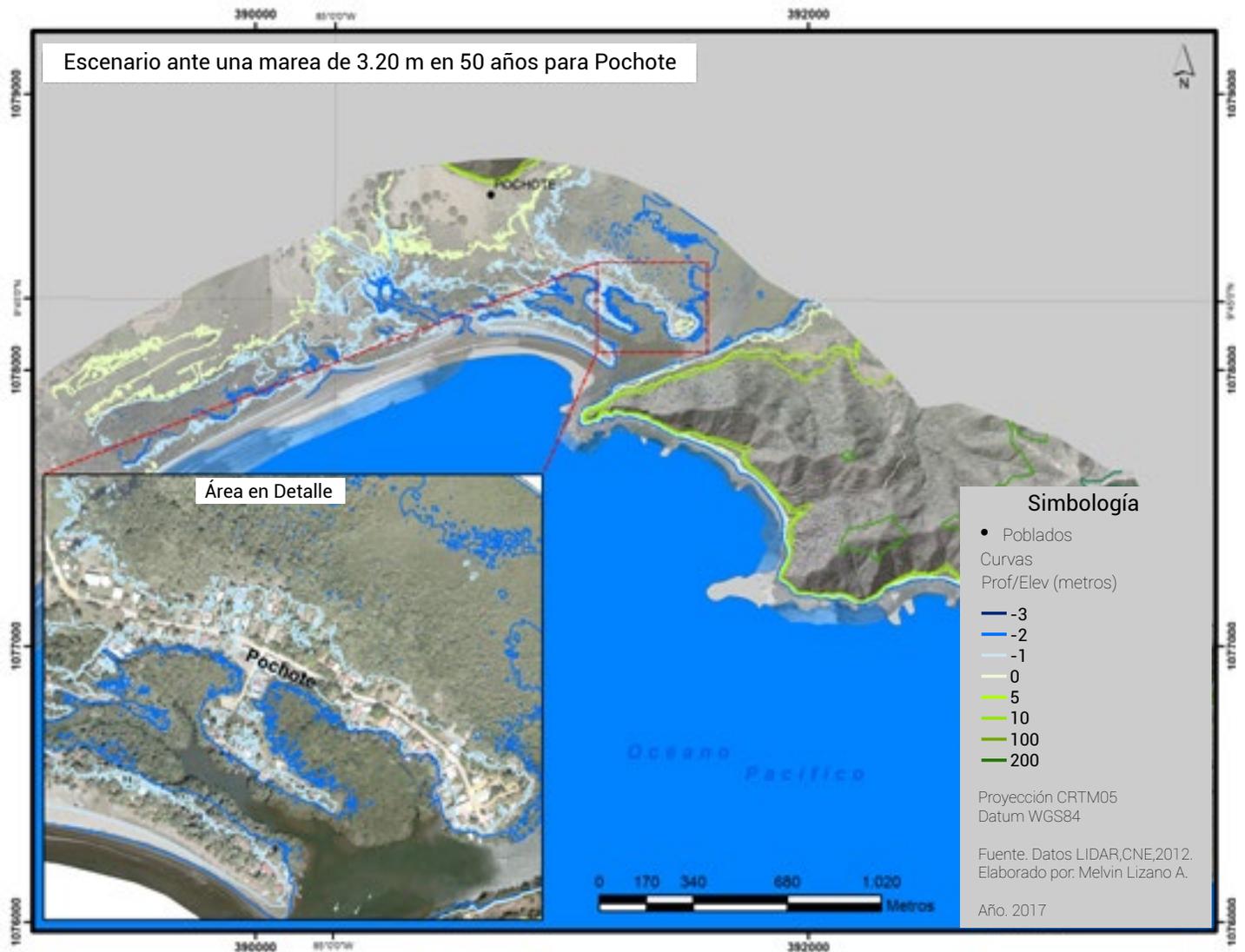


Figura 12. Escenario ante una marea de 3,2 m en 50 años en Pochote.

del mundo entero, incluido el Golfo de Nicoya, donde se prevén desplazamientos o migraciones de especies, desde o hacia al Golfo, y aguas menos oxigenadas y menos productivas en general.

Un dato interesante es que, según el análisis, la salinidad en el mar frente al Golfo de Nicoya tiene una tendencia a la disminución. Una relación curiosa, pues debería ser inversa: a menor precipitación en la región de Guanacaste, mayor salinidad, como sucede en el interior del Golfo. Es posible que la salinidad esté reflejando una condición de transporte de corrientes desde el mínimo superficial más bajo de los océanos tropicales (Lizano, 2016), ubicado frente al Pacífico Colombiano.

La precipitación al sur de Costa Rica, Panamá y Colombia tiene un escenario de aumento (Hidalgo *et al.*, 2016). Además, se ha probado que el Pacífico Tropical Este tiene un

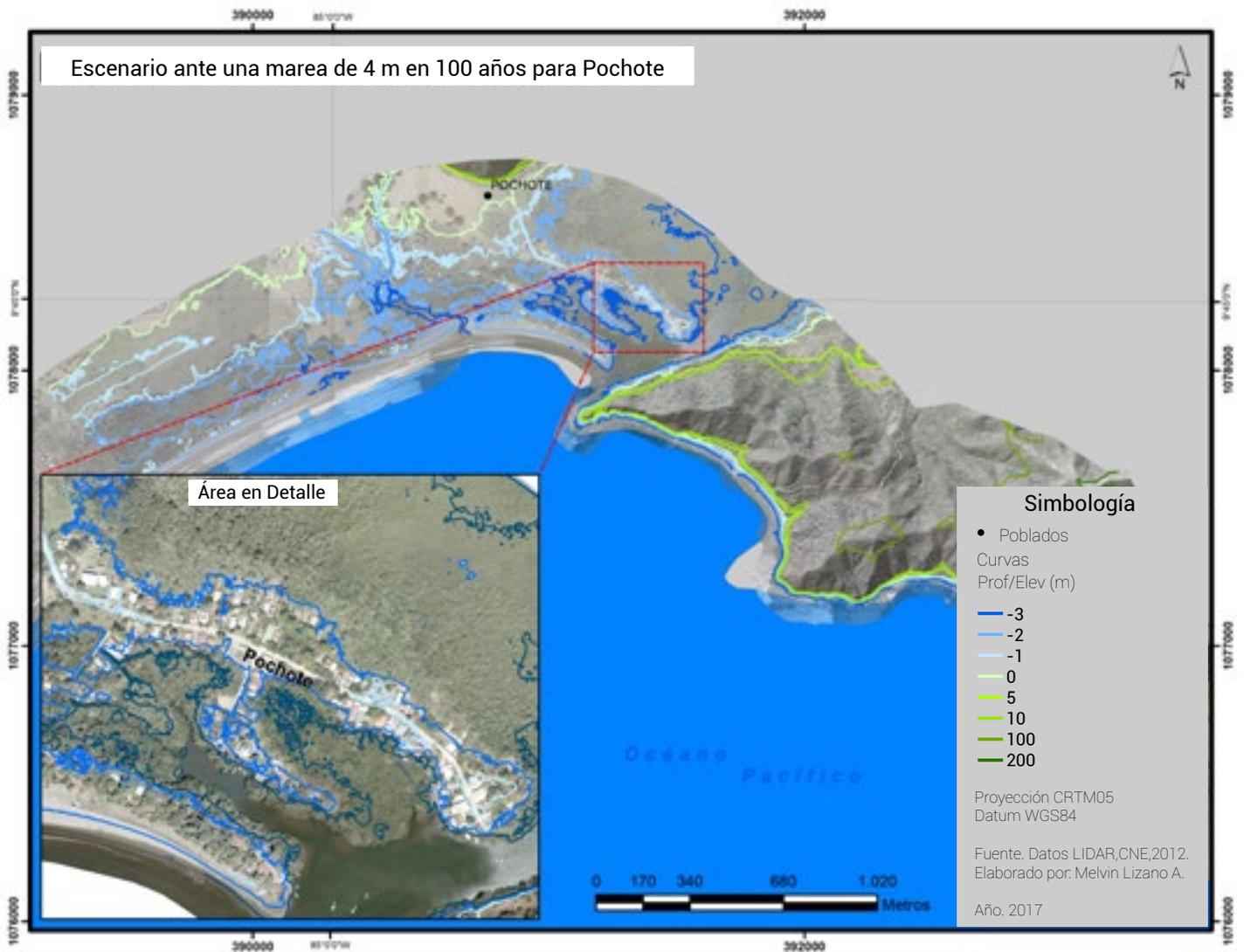


Figura 13. Escenario ante una marea de 4 m en 100 años en Pochote.

refrescamiento de las aguas superficiales por un aumento de la actividad de ciclo hidrológico (FAO, 2012), que estaría apoyando la tesis de disminución de salinidad al frente del Golfo de Nicoya.

Sólo se tuvo variables propiamente frente a la región de Paquera-Tambor de concentración de clorofila y, aunque las series no son robustas estadísticamente, ambas tienen tendencia a la disminución. Esto podría estar indicando una estratificación por temperatura en esta región.

La velocidad del viento está aumentando, junto con la altura y el período de las olas. Esto generará más erosión en las playas del Golfo, pérdida de hábitats marinos, y un impacto en las comunidades costeras.

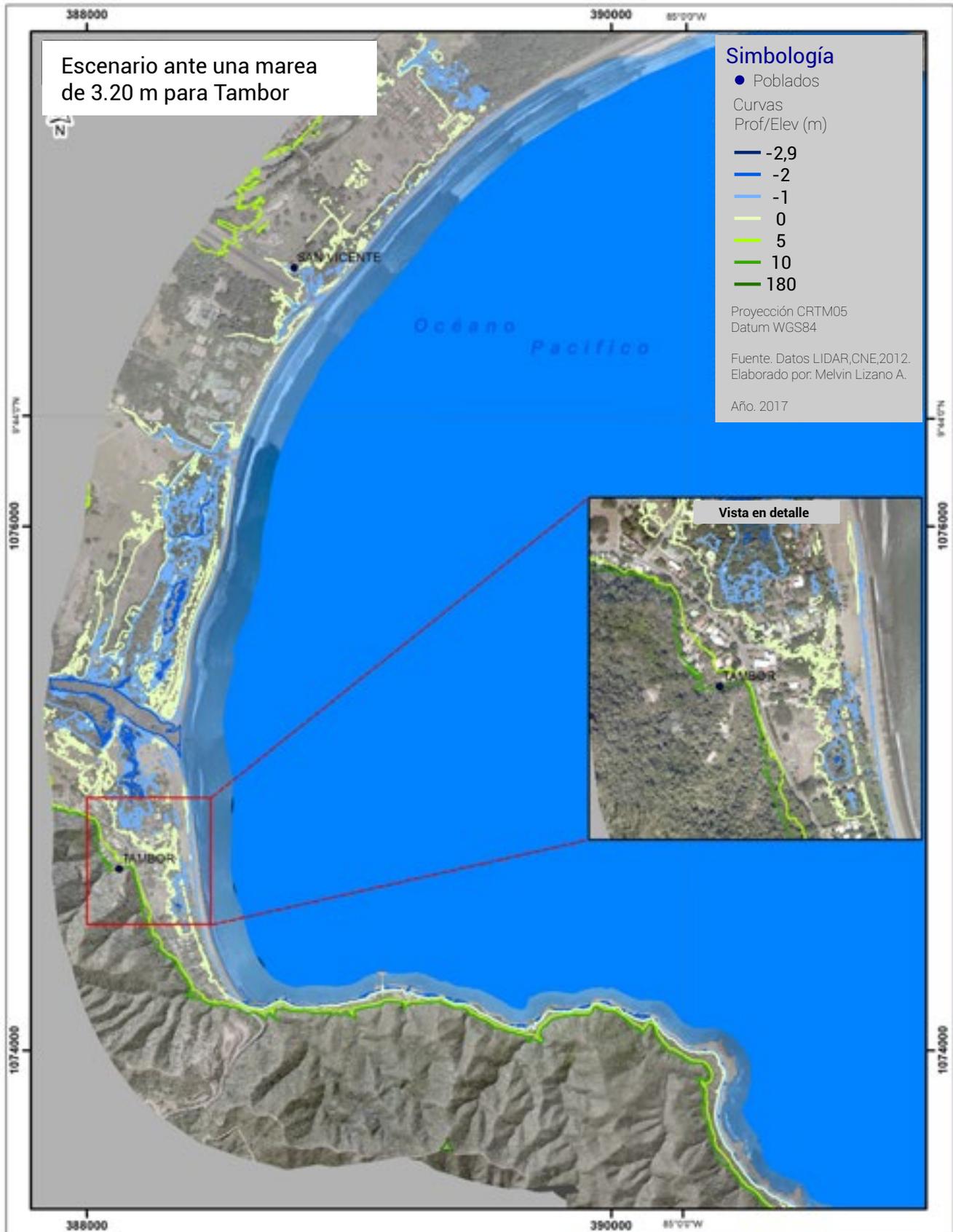


Figura 14. Escenario ante una marea de 3,2 m en 50 años en Tambor.

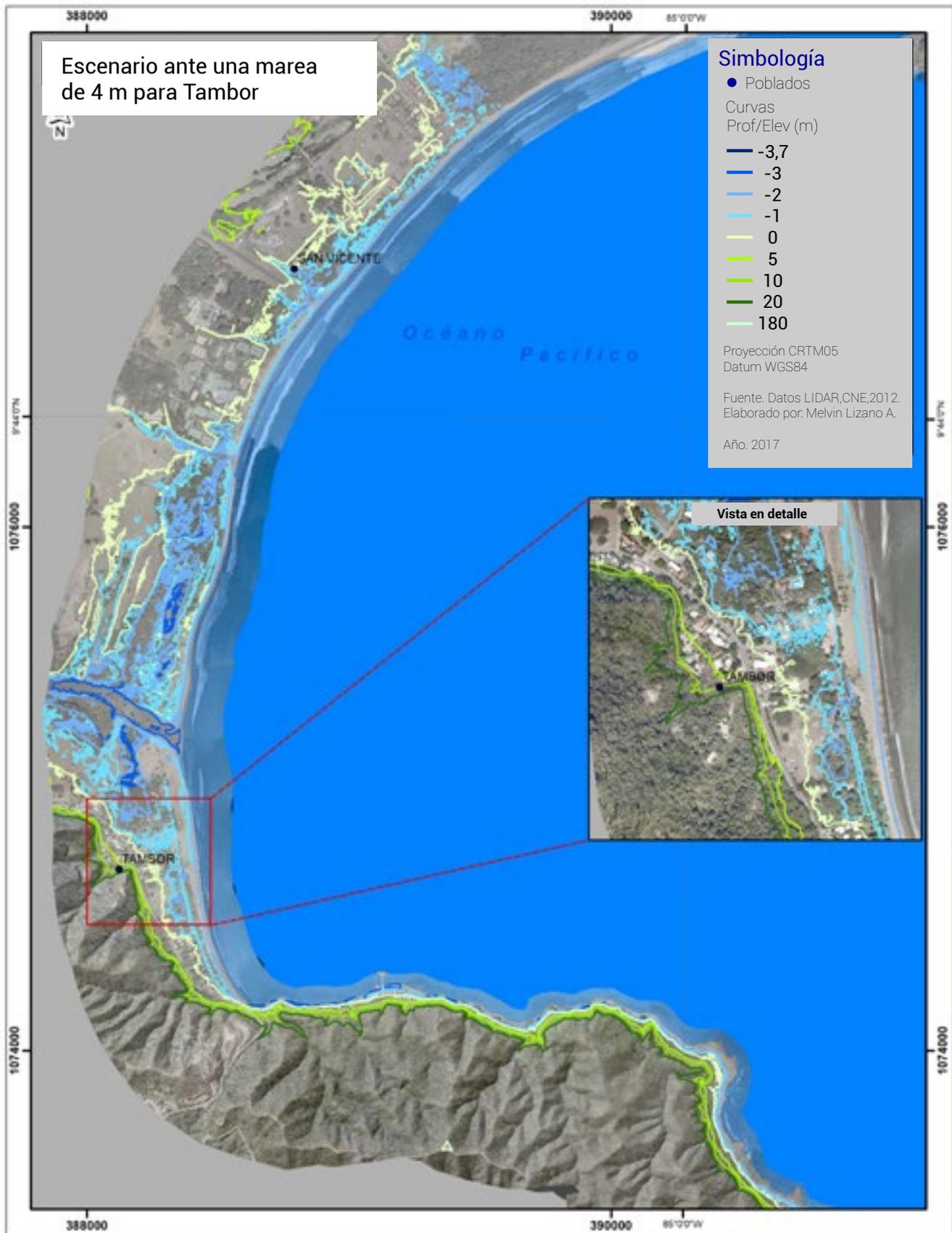


Figura 15. Escenario ante una marea de 4 m en 100 años en Tambor.

Pesca responsable

Erick Ross Salazar

Los peces se encuentran entre los recursos naturales renovables más importantes del mundo (Sumaila *et al.*, 2012). Estos no sólo juegan un papel importante en los ecosistemas acuáticos, sino que también representan, para las poblaciones humanas que dependen de estos, seguridad alimentaria y fuente de ingreso a través de actividades de pesca, procesamiento y venta (Sumaila *et al.*, 2012). Esto es particularmente cierto en países en vías de desarrollo (Zeller *et al.*, 2007).

Mundialmente, el pescado es una de las principales fuentes de proteína. Se calcula que este representa el 17% de toda la proteína animal consumida a nivel global (The World Bank, 2013; FAO, 2016). En el 2013, los peces proveyeron cerca del 20% de la proteína animal consumida en las dietas de más de 3.100 personas encuestadas (FAO, 2016).

Los peces, además, son parte integral de los ingresos de las comunidades costeras a nivel mundial. Se calcula que la pesca provee ingresos económicos al 12% de la población mundial (FAO, 2016).

Sin embargo, esta importancia se ve amenazada debido a una explotación desmedida de los recursos marinos. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) calcula que, a nivel mundial, el 31,4% de los recursos pesqueros se explotan a niveles biológicamente insostenibles, el 58,1% se encuentra explotado a sus niveles máximos sostenibles, mientras tan solo el 10,5% se encuentre pescado debajo de sus niveles máximos (FAO, 2016).

Áreas Marinas de Pesca Responsable

En Costa Rica, el desarrollo de los recursos marinos se encuentra al amparo de la rectoría del Ministerio de Agricultura y Ganadería en lo referente al sector productivo; y al Ministerio del Ambiente y Energía en lo referente a la conservación de recursos naturales.

El manejo de los recursos hidrobiológicos de interés pesquero le corresponde al INCOPECSA según los artículos 5 y 42 de la Ley de Creación del INCOPECSA (Ley N° 7384). Lo anterior conlleva a la necesidad de establecer mecanismos de coordinación interinstitucional que permitan implementar una política adecuada para la sostenibilidad de los recursos marinos en nuestro país.

El INCOPECSA aprobó el Reglamento para el Establecimiento de Áreas Marinas de Pesca Responsable mediante el AJDIP/138-2008. Este reglamento establece una modalidad de manejo participativo desarrollada en conjunto con los pescadores interesados en aplicarla, por ser ellos los usuarios directos y garantes de la sostenibilidad de los recursos pesqueros.

Esta iniciativa ofrece una posibilidad de aprovechamiento de los recursos marinos desde una perspectiva de construcción participativa para el ordenamiento pesquero. Esto permitiría rescatar y combinar la experiencia empírica con las recomendaciones científicas, poniéndolas en función del uso sostenible de los recursos marinos, a través de la pesca responsable.

En este contexto, en el año 2014, cuatro asociaciones de pescadores de pequeña escala y buzos solicitaron al INCOPECSA que se realizaran todos los procedimientos pertinentes para la declaratoria del AMPR Paquera-Tambor. La Junta Directiva del INCOPECSA, según el acuerdo AJDIP 99-2014 publicado en La Gaceta el 10 de noviembre del 2014, aprobó el Plan de Ordenamiento Pesquero aprobado para el AMPR Paquera-Tambor.

Este acuerdo zonifica el área con el fin de delimitar las zonas de pesca según artes permitidos y las zonas de protección (Figura 16).

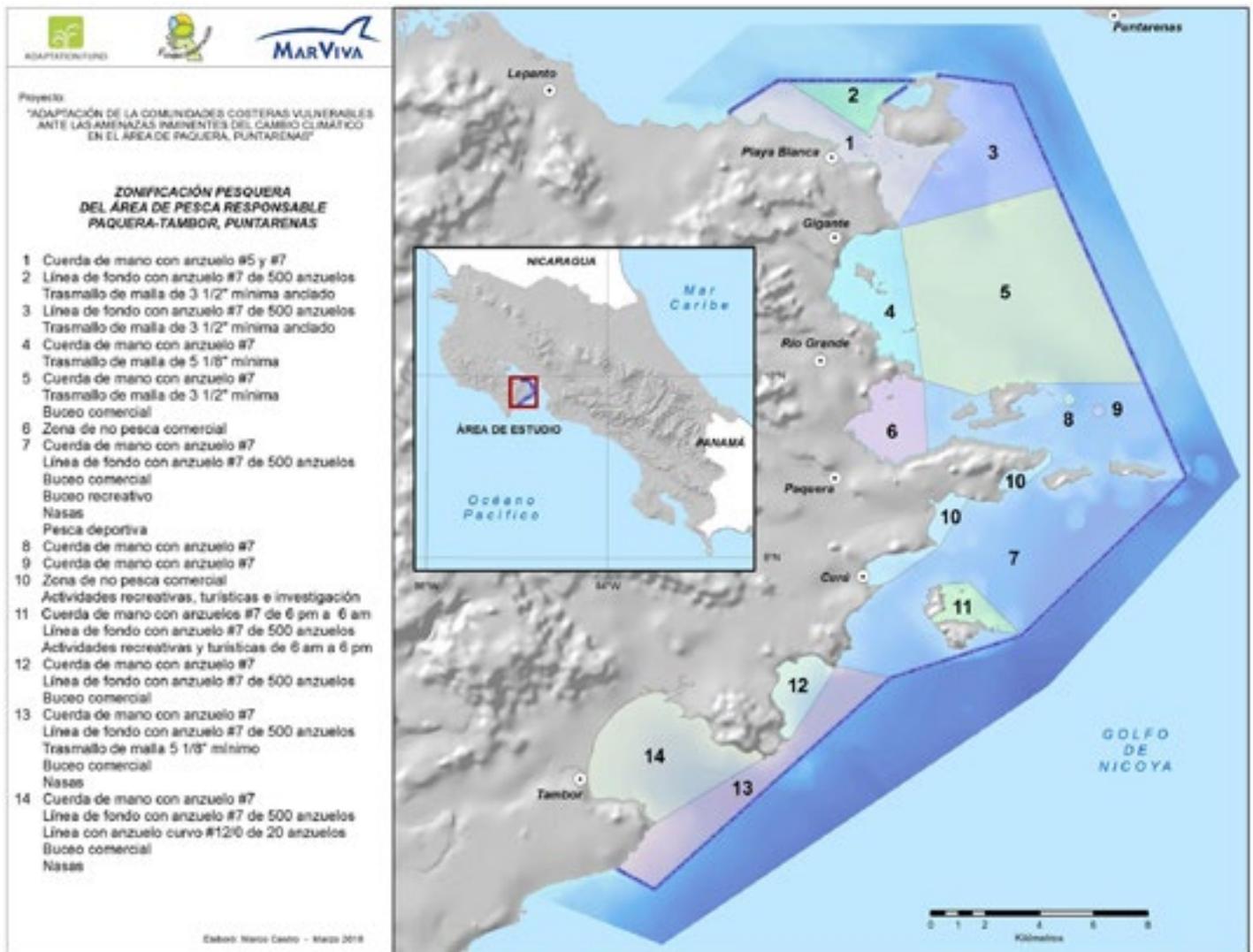


Figura 16. Zonificación del Área Marina de Pesca Responsable Paquera Tambor.

Principios de la pesca responsable

La pesca responsable involucra una serie de conceptos que deben aplicarse con el fin de reducir el impacto de las pesquerías sobre el medio ambiente y asegurar la sostenibilidad de las mismas.

Los puntos primordiales para fomentar una pesca responsable son (Ross Salazar & Alfaro, 2014):

- El uso de artes de pesca responsables.
- No utilizar artes de pesca prohibidas o poco selectivas.
- El respeto a las vedas.
- El respeto a la normativa pesquera.

- El respeto a las tallas mínimas de madurez de las especies y la liberación de los individuos que no las cumplan.
- El pescar sólo especies no-amenazadas y liberar especies capturadas que estén en peligro de extinción.
- El usar sólo artes amigables con el ambiente.
- El realizar una adecuada manipulación del producto pesquero.
- El realizar un monitoreo pesquero participativo.
- El adoptar un programa de trazabilidad del producto pesquero.
- Colaborar con las autoridades y academia en estudios de investigación pesquera.
- Colaborar con las autoridades en el control y vigilancia.

El manejo adecuado del producto es parte de la responsabilidad que pescadores y procesadores deben adoptar. La información relacionada con el estado de los recursos donde se realizan las pesquerías y dan origen al producto, así como la ruta y proceso que este ha seguido hasta que llega al consumidor final son también parte fundamental de una pesca y comercialización responsables (Ross Salazar & Alfaro, 2014).

Monitoreo pesquero

El AMPR Paquera-Tambor ha sido objeto de diversos programas de monitoreo pesquero liderados por una variedad instituciones y organizaciones, incluyendo a la UNA, el INCOPECA y a Fundación MarViva. La UNA apoyó la creación de este AMPR, desde antes de su declaratoria en el 2014. La universidad ha realizado labores de monitoreo pesquero con las comunidades, por lo que tiene consciencia de la importancia de este recurso para la población local (Hernández Noguera *et al.*, 2017).

Adicionalmente al programa de monitoreo pesquera de la UNA, el INCOPECA realiza monitoreos mensuales en las diversas AMPR del país, incluida el AMPR Paquera-Tambor. Sumado a este esfuerzo de monitoreo, los

recibidores dentro y fuera de las AMPR colaboran con la gestión pesquera. Los recibidores recolectan información relevante de las capturas pesqueras y la envía al INCOPECA. Esta información permite evaluar la efectividad de manejo del área.

Previamente, en el periodo 2013-2014, Fundación MarViva por medio del Proyecto BID-Golfos había capacitado a pescadores de las tres comunidades del AMPR (Playa Blanca, Paquera y Tambor) en temas de monitoreo pesquero y temas de pesca responsable, otorgado equipo informático y otras herramientas necesarias para el monitoreo. Esta fuerte base permitió dar seguimiento durante los talleres al tema de pesca responsable.

Debido a las dificultades encontradas para convocar a las comunidades a talleres, y a la fuerte presencia de la Universidad Nacional y el INCOPECA en labores de monitoreo pesquero en el AMPR Paquera-Tambor, se consideró que implementar un monitoreo pesquero adicional por medio de este proyecto no sería necesario.

Un factor importante a la hora de considerar el impacto de las artes de pesca y la posible liberación de especies no deseadas, es la duración del calado de las redes de pesca. El 85% de los individuos capturados en redes de pesca continua vivo una hora después de calar la red de enmalle, sin embargo, la sobrevivencia se reduce al 13% después de tres horas de calar la misma arte de pesca (Hernández Noguera *et al.*, 2017).

Los datos recolectados durante los años 2016 y 2017 indican que la mayoría de especies capturadas en el AMPR Paquera-Tambor no está en peligro de extinción o son especies vulnerables. Según el monitoreo pequero, solamente 1,16% de las capturas podría catalogarse de esta forma, al tratarse de tiburón (Cuadro 3).

Las principales especies capturadas por la comunidad de Tambor son el pargo mancha y pargo seda (28,56%), seguidas por el dorado (16,02%), otras especies de pargo (15,98%) y corvina agria (12,28%) (Cuadro 3).

La especie que representó el mayor precio promedio pagado al pescador fue el dorado, con 3.316 colones. Esta especie tiene una temporalidad marcada, con presencia durante los meses de noviembre a febrero. En valor le siguieron la corvina reina (2.859 colones), el congrio (2.698 colones), la cabrilla (2.502 colones) y el pargo mancha y pargo seda (2.323 colones) (Cuadro 4).

Cuadro 3. Volumen de especies desembarcadas en Tambor durante el periodo 2016-2017.

Especie	Volumen (kg)	%
Pargo mancha/pargo seda	13.933	28,56
Dorado	7.814	16,02
Otros pargos	7.795	15,98
Corvina agria	5.988	12,28
Cabrilla	3.540	7,26
Corvina reina	2.801	5,74
Atún	2.375	4,87
Clase	1.571	3,22
Otros	953	1,95
Picuda	635	1,30
Tiburón	564	1,16
Cola de bagre	449	0,92
Congrio	360	0,74
Total general	48.778	100

Cuadro 4. Precio promedio de las especies desembarcadas en Tambor durante el periodo 2016-2017.

Especie	Volumen (kg)	%
Pargo mancha/pargo seda	13.933	28,56
Dorado	7.814	16,02
Otros pargos	7.795	15,98
Corvina agria	5.988	12,28
Cabrilla	3.540	7,26
Corvina reina	2.801	5,74
Atún	2.375	4,87
Clase	1.571	3,22
Otros	953	1,95
Picuda	635	1,30
Tiburón	564	1,16
Cola de bagre	449	0,92
Congrio	360	0,74
Total general	48.778	100

Análisis de los efectos del cambio climático sobre el AMPR Paquera-Tambor

Didiher Chacón Chaverri

Elementos focales de manejo en el AMPR Paquera-Tambor

De acuerdo a la información revisada, la zonificación y la gestión que establece el AMPR Paquera-Tambor, se puede extraer varios elementos focales de manejo (Figura 17).



Figura 17. Elementos focales de manejo del AMPR Paquera-Tambor.

Servicios ecosistémicos de un AMPR

Los servicios ecosistémicos se entienden cómo *"los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas"* (MEA, 2005). Esto incluye beneficios tangibles, así como intangibles, que proveen bienestar a las personas (Forest Trends *et al.*, 2010). Cabe destacar que, para una medición y valoración óptima de los servicios ecosistémicos, se requiere de unidades de servicios ecosistémicos bien definidas. Si éstas son ausentes o abstractas, esto puede llevar a complicar y/o a sub o sobreestimaciones de la valoración de los servicios ambientales (Boyd & Banzhaf, 2007; Wunder *et al.*, 2008). Para la valoración, también se puede considerar que los servicios son características ecológicas, no funciones o procesos (Boyd & Banzhaf, 2007).

Para fines de modelaje, la forma de categorizar los servicios ecosistémicos más aceptada y aplicada divide los servicios ambientales en servicios de provisión o aprovisionamiento, servicios de regulación, servicios de soporte ecológico y servicios culturales (MEA, 2005). A estas categorías se les adicionó la categoría de valores de opción (Beaumont et al., 2007). Para los servicios ecosistémicos marinos se han definido 17 servicios generales dentro de las cinco categorías adaptables a cada caso individual.

Cabe destacar que algunos servicios ecosistémicos únicamente se pueden utilizar localmente, otros se pueden usar o gozar de ellos lejos de donde fueron producidos (Pagiola, 2008). Este es el caso de la protección de cuenca alta por medio de reforestación para evitar la sedimentación y mejoramiento de calidad de agua, un servicio regulatorio, del cual se puede hacer uso en la cuenca baja, desembocaduras y hasta en mares. Otro ejemplo es la fijación de CO₂ por pastos marinos y el servicio regulatorio de gases a nivel global. Es meritorio indicar que los servicios ecosistémicos objetivo no necesariamente tienen que ser los que se pagan, al fin y al cabo.

Después de establecer el área donde se generan servicios ambientales, es de suma importancia entender los procesos, funciones, productos y conocimiento de la extensión espacial del servicio ecosistémico (Boyd & Banzhaf, 2007; Wunder et al., 2008). Para esto, se puede realizar un análisis con diferentes herramientas de manejo. Una metodología muy utilizada es seguir los 12 principios del Enfoque por Ecosistemas propuestos por el Convenio sobre la Biodiversidad Biológica, con un modelo simplificado de los servicios ecosistémicos con beneficios sociales y el Marco DPSIR¹, el cual describe un modelo de sistemas para identificación de causas, consecuencias y respuestas ante un cambio en una manera holística (con elementos ecológicos y socio-económicos), como herramienta de manejo (Atkins et al., 2011).

Destaca como elemento esencial la definición clara de los indicadores o unidades de medición para la cuantificación de los servicios. Estos son de importancia para la valoración de los servicios ecosistémicos. Se recomienda utilizar para este fin, productos finales o

cosas y características ecológicas, ya que medir procesos y funciones puede resultar complejo (Boyd & Banzhaf, 2007).

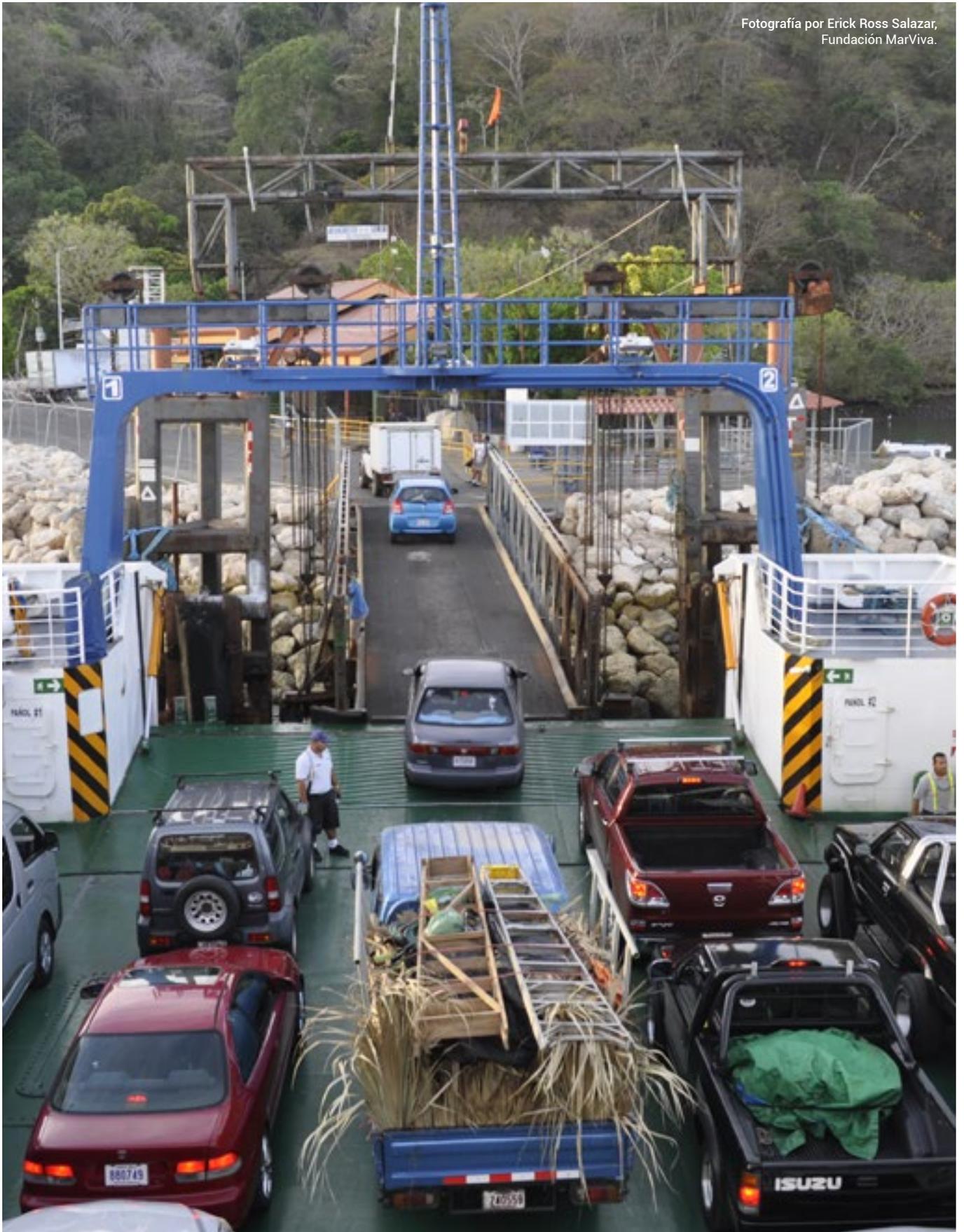
Además, para la cuantificación y valoración de los servicios ecosistémicos se requiere de apoyo de científicos para determinar la calidad y el estatus actual de estos, así como su potencial para proveer servicios ecosistémicos por medio de prácticas para su mejoramiento. Es decir, se trata de ligar actividades de manejo para aumentar o mantener los servicios ecosistémicos que se quieren vender. En esta fase, se recomienda también analizar los posibles riesgos, así como posibles requisitos que compradores pueden llegar a pedir (Forestry Trends et al., 2010).

Según el enfoque ecosistémico (MEA, 2005), estos servicios van a incidir en temas de seguridad en la medida que reducen la vulnerabilidad a los colapsos y tensiones ecológicas; bienes y materiales básicos para una buena vida, tal como el acceso a recursos y así obtener un ingreso que permita contar con medios de subsistencia; salud en la medida que brinda alimentación, agua, aire limpio, energía; y buenas relaciones sociales debido a la oportunidad que ofrece para expresar valores estéticos, recreacionales, valores culturales, espirituales y la posibilidad de observar, estudiar y aprender de los ecosistemas.

Para una mejor comprensión del concepto de los servicios ecosistémicos se debe entender qué son los ecosistemas. Entendiendo este concepto, se puede obtener un mejor entendimiento de cómo se generan y, por ende, como se definen los servicios ambientales. Los ecosistemas son complejos dinámicos de tamaños altamente variados y entrelazados, donde las comunidades de organismos vivos y su entorno abiótico interactúan entre sí como unidades funcionales, dentro de las cuales el ser humano forma parte integral (MEA, 2005).

Los ecosistemas son sistemas abiertos, por lo cual delimitarlos para fines de modelos puede resultar una tarea difícil (TEEB, 2010). Esta característica es importante, ya que la definición y categorización de los servicios ambientales se relaciona con funciones, procesos, servicios y productos de los diferentes ecosistemas (MEA, 2005).

¹ D = Drivers (conductores reconocidos como los actores del desarrollo social y económico), P = Pressures (presiones sobre sistema marino en cuestion, creados por actores), S = State Changes (cambios en estado de sistema marino), I = Impact (Los cambios en el sistema producen impactos en sociedad), R = Response (respuesta social debido a cambio en sistema marino).



Los ecosistemas marinos, para fines prácticos, se pueden dividir en dos zonas de sistemas generales (MEA, 2005; Naber *et al.*, 2008; Forest Trends *et al.*, 2010):

Zona costera o litoral: se entiende el área entre 50 m bajo el nivel medio del mar y 50 m por encima del nivel de pleamar, o la ampliación hacia tierra adentro hasta una distancia de 100 km de la costa. Dentro de esta se encuentran:

- 1- Estuarios.
- 2- Pantanos, marismas y lagunas.
- 3- Manglares.
- 4- Hábitat intermareales, deltas, playas y dunas.
- 5- Arrecifes coralinos y atolones.
- 6- Pastos marinos.
- 7- Otras comunidades bentónicas: arrecifes de rocas y conchas, fangales, etc.

Zona marina u oceánica: Esta zona abarca los ecosistemas marinos que se encuentran a mayor profundidad que 50m bajo el nivel medio del mar.

Los ecosistemas marinos y costeros suministran servicios ecosistémicos, es decir, tienen atributos y prestan servicios que pueden ser estimados en términos económicos (Constanza *et al.*, 1997). Estimaciones sobre valores de servicios ecosistémicos globales, realizados en los años noventa, indican que los ecosistemas aportaban US\$33 millones de millones al año. De éstos, se estima que alrededor de dos tercios eran provenientes de servicios ecosistémicos marinos. Como comparación, también se puede considerar que supera el total mundial de producto interno bruto (US\$18 millones de millones) (Constanza *et al.*, 1997).

En este sentido, la definición más aceptada del término *pagos por servicios ambientales o pago por servicios ecosistémicos* contiene varias características según Wunder (2005), quien lo define como "una transacción voluntaria en donde un servicio ambiental (SA) bien definido o una forma de uso del océano que mantenga el flujo de ese servicio es comprada por al menos un comprador de ese SA de, al menos un proveedor de dicho SA, siempre y cuando el proveedor continúe abasteciendo ese servicio (condicionalmente)".

La biodiversidad marina presta una importante variedad de servicios que pueden estimarse en rubros económicos a nivel de país y en particular, a las economías locales (Morales, 2011). Estos servicios ecosistémicos pueden estimarse (Olsen, 2003), de manera tal que un arrecife coralino podría generar anualmente hasta US\$6.000/ha/año, un manglar US\$10.000/ha/año, mientras que una hectárea de estuario podría alcanzar hasta los US\$22.000 por año.

Los arrecifes, durante su crecimiento, incorporan en sus esqueletos entre 0,8 y 4,0 kg de CaCO_3 que contiene aproximadamente 450 g de CO_2 , por lo que, en total, los arrecifes del mundo están fijando 700 mil millones de kilogramos de CO_2 por año, lo cual claramente los coloca entre los organismos con mayor capacidad para mitigar el efecto invernadero que este gas provoca (Carballo *et al.*, 2010).

Se estima que el valor recreacional para la tortuga verde en la costa Caribe de Costa Rica es de US\$317,4 por tortuga, mientras el costo total² (C_T) fue de US\$1.142,1, donde el $C_T =$ Valor comercial + Costo de protección + Costo de producir una tortuga en cautiverio + Valor recreacional (Castro *et al.*, 2000).

El servicio productivo de algunos ecosistemas es muy importante, tal como lo son los manglares. Cada hectárea de manglar es responsable de la producción anual estimada de 185 kg de camarones peneidos en la costa Pacífica de Guatemala, 88,6 kg en El Salvador, 150 kg en Nicaragua y 99 kg en Costa Rica, revelando su tremenda importancia en las cadenas tróficas y contribución a la biomasa oceánica (Pauly & Ingles, 1999).

McKenzie (2008) estableció algunos parámetros de los servicios brindados por los pastos marinos:

- El valor global por el procesado de nutrientes, en 1994, se estimó en US\$19.000/ha/año.
- Una hectárea de pasto marino absorbe 1,2 kg de nutrientes por año, lo cual es equivalente al tratamiento de un efluente desde una comunidad de 200 personas.

² Valor que incluye estimaciones de inversión en conservación, generación para el turismo, costos de protección, etc.

- El pasto marino secuestra 33 g de carbono/m²/año lo que equivale a las emisiones de CO₂ de un automóvil viajando por 2.500 km.
- Un m² de pasto marino produce más de 10 litros de O₂ por día.

Es claro que, además de los servicios biológicos que brindan los ecosistemas, se contempla una serie de aspectos que incluyen las actividades socio-económicas que realiza el ser humano a partir de su existencia, tales como el aprovechamiento de los recursos marinos que mantienen a las grandes industrias pesqueras y que dinamizan la actividad turística, por mencionar algunos.

Los servicios que brindan los ecosistemas marinos y costeros son fundamentales, considerando que más de una tercera parte de la población mundial vive en zonas costeras y que un porcentaje aún mayor mantiene una alta dependencia de estos servicios (UNEP, 2006 en *Forest Trends et al.*, 2010). Las áreas marinas protegidas (AMP) de Costa Rica, en el 2009, generaron US\$ 4,6 millones por ingresos del turismo, de los cuales US\$ 2,17 millones fueron generados por una sola AMP (Reyes & Sánchez, 2011).

Finalmente, es necesario comprender que no existe una receta detallada que se pueda aplicar a todos los casos. El contexto ecosistémico, legal, político, de mercadeo, participantes, servicios ambientales, entre otros, todos aportan a la complejidad de la elaboración e implementación de acuerdos para PSE.

Efectos esperados del cambio climático en el AMPR Paquera-Tambor

El cambio climático tendrá afectaciones considerables sobre los ecosistemas marinos, tales como: arrecifes de coral, pastos marinos, playas y humedales costeros, ecosistemas en los cuales se sustentan las pesquerías y el turismo. Asimismo, se verá afectada gravemente la infraestructura de las comunidades, ciudades y comercio de los países. Por esta razón, es fundamental la implementación de medidas de adaptación ante el cambio climático para mantener la funcionalidad de los ecosistemas que sustentan las pesquerías y el turismo, mejorando de esta manera la capacidad adaptativa de las comunidades humanas (BIOMARCC-USAID, 2013).

El calentamiento del aire y del mar puede llegar a provocar cambios en las precipitaciones, aumento del nivel del mar y fenómenos climáticos extremos, en donde, las consecuencias de dichos cambios en las zonas marinas y costeras estarán relacionados con la erosión costera, inundaciones, sequías, intrusión de agua salada y cambios en los ecosistemas (BIOMARCC-USAID, 2013).

Las tendencias esperadas para diversos fenómenos en el Golfo de Nicoya se analizaron en el apartado de oceanografía de este documento (Ver: Análisis de series de tiempo oceanométrológicas del Golfo de Nicoya, página 16). No obstante, el Cuadro 5 muestra un resumen de los cambios que se espera se llegaran a percibir en las principales variables climáticas y oceanográficas que rigen en el Golfo de Nicoya.

Cuadro 5. Tendencias esperadas de las variables climáticas y oceanográficas en el Golfo de Nicoya.

Efecto	Tendencia
Salinidad del agua	Reducción
Temperatura	Aumento
Acidificación del agua	Aumento
Productividad primaria (clorofila)	Reducción
Nivel del mar	Aumento
Concentración del oxígeno	Reducción
Disponibilidad de nutrientes	Reducción
Frecuencia y severidad de tormentas marinas	Aumento
Cambios en las corrientes marinas	Cambiante
Regímenes de precipitación	Aumenta o decrece severamente
Cambios en caudales de ríos	Aumenta o decrece severamente
Oleajes	Aumenta con relación a cambios atmosféricos
Pesquerías	Reducción

El régimen normal de las masas de aire tropical oceánico se encuentra modificado por la influencia de las corrientes marinas. Es remarcable notar que, debido a la superficie del Pacífico, este suministra cerca del 50% de la evaporación global pero tan solo recibe el 40% de las precipitaciones ya que los ríos que lo circundan no drenan más que un cuarto de las tierras emergidas (Pourrut, 1986).

En la región, es preciso separar la orografía, cuyo papel es inmutable e invariable, de la circulación atmosférica y las condiciones oceánicas que son parámetros dinámicos y que pueden sufrir cambios anómalos substanciales. Más aún, estos dos últimos factores están ligados tan estrechamente que a veces es difícil establecer una clara distinción entre causas y efectos (Pourrut, 1986).

Fenómenos de El Niño y La Niña

El Niño es una corriente marina cálida que altera la temperatura superficial del mar (TSM), normalmente durante las primeras semanas del año. Este aumento de temperatura no sobrepasa la zona septentrional del Perú y acaba su influencia al final del mes de abril.

Esta corriente marina no permite que las aguas frías, ricas en fosfatos y nitratos, surjan desde las aguas profundas y alimenten las cadenas tróficas superficiales (Alfaro & Amador, 1996; Alfaro & Amador, 1997; Jaimes, 1999). La fase contraria a este fenómeno se da cuando las temperaturas superficiales oceánicas son bajas y los vientos alisios son relativamente intensos, la cual se denomina La Niña (Cuadro 6).

En este sentido, los fenómenos atmosféricos-biofísicos exacerbados por el efecto del cambio climático son una amenaza significativa para el AMPR Paquera-Tambor. Los efectos de los impactos del cambio climático y los fenómenos de El Niño y La Niña, repercuten en los recursos marinos. El calentamiento de las aguas y su migración sentido oeste-este hacia la parte final del año, provoca una decaída en la productividad y ha causado la muerte de importantes ecosistemas costeros como el arrecife coralino (Guzmán *et al.*, 2004).

El efecto de El Niño provoca bajas en la productividad primaria en la biomasa de la columna de agua y en los tamaños de poblaciones de recursos, donde destacan los recursos pesqueros. Particularmente, los arrecifes de esta región se caracterizan por presentar a *Porites lobata* y *Pocillopora damicornis* como especies de coral

Cuadro 6. Tendencia de aparición del fenómeno de El Niño y La Niña.

Débil	El Niño Moderado	Fuerte	Débil	El Niña Moderado	Fuerte	Normal o No ENSO 1	
1963-1964	1951-1952	1965-1966	1954-1955	1950-1951	1955-1956	1952-1953	1981-1982
1968-1969	1957-1958	1971-1972	1956-1957	1970-1971	1973-1974	1953-1954	1983-1984
1969-1970	1977-1978	1972-1973	1962-1963	1998-1999	1975-1976	1958-1959	1985-1986
1976-1977	1984-1985	1974-1975	1964-1965	2000-2001	1988-1989	1959-1960	1989-1990
1986-1987	1987-1988	1982-1983	1967-1968	2007-2008	2010-2011	1960-1961	1990-1991
1992-1993	1994-1995	1991-1992				1961-1962	1993-1994
1995-1996	2002-2003	1997-1998				1966-1967	1996-1997
1999-2000	2009-2010					1978-1979	2001-2002
2004-2005						1979-1980	2003-2004
2006-2007						1980-1981	2005-2006
2008-2009							

Fuente: Bedoya et al., 2010

dominantes, especies que se han visto fuertemente afectadas por fenómenos naturales como El Niño. Los eventos de 1982-1983 y de 1997-1998 en sitios como Isla Coiba, Isla del Coco e Islas Galápagos causaron la mortalidad de más del 50% de los corales (Cortés et al., 2010; Manzello et al., 2014).

En el contexto, antes del excepcional El Niño 1982-1983, los eventos de esta naturaleza comenzaban con el calentamiento anómalo de la TSM, que se extendía desde las costas del Perú y Ecuador hacia el oeste, tal como en 1957, 1965, 1968, 1972, 1976, 1997 y 1998. Pero el fenómeno del 1982-1983 comenzó en el Pacífico Ecuatorial Central y se desplazó al este hasta alcanzar Suramérica (Jaimes, 1999). Este fenómeno es de tal importancia global, que incluso influye sobre aspectos económicos como la bolsa de valores (Pourrut & Gómez, 1998).

Lo anterior conlleva entonces, no limitar su estudio a aspectos meramente biofísicos, sino incluir estudios socio-económicos, pues el fenómeno condiciona a disponibilidad de bienes naturales de un rango vital para las sociedades del Pacífico Oriental Tropical tal como es el agua (Bedoya et al., 2010).

Otros efectos del cambio climático

Otros aspectos importantes a destacar en torno al cambio climático son la desertificación, la pérdida de caudales de agua para uso humano, agrícola, turístico e industrial, el incremento de catástrofes naturales (lo que incluye deslaves, inundaciones, incendios forestales), la reducción de la producción agrícola y el incremento de plagas, algunas con serios problemas de salud como el dengue y sus variedades, que demandan enormes inversiones a los estados. Estos son algunos de los efectos directos y colaterales del cambio climático en la región (Vargas & Gómez, 2003).

Riesgo

El cambio climático plantea riesgos para los sistemas humanos y naturales (IPCC, 2014). La contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del IPCC (2014) define el riesgo como potencial de consecuencias en que algo de valor está en peligro con un desenlace incierto, reconociendo la diversidad de valores.

El riesgo de los impactos conexos al clima se deriva de la interacción de los peligros conexos al clima (incluidos episodios y tendencias peligrosos) con la vulnerabilidad y la exposición de los sistemas humanos y naturales (Figura 18). Los cambios en el sistema climático y los procesos socioeconómicos, incluidas la adaptación y mitigación, son impulsores de peligros, exposición y vulnerabilidad (IPCC, 2014).

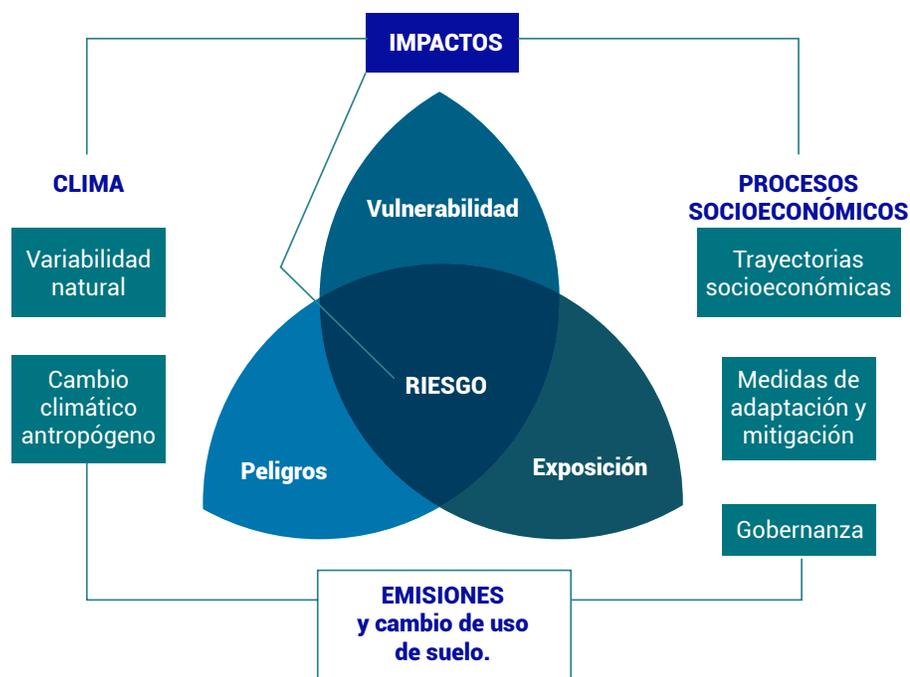


Figura 18. Conceptos relacionados con el riesgo de los impactos conexos al clima (IPCC, 2014).

El cambio climático conlleva interacciones complejas y cambios en las probabilidades de impactos diversos. La focalización en el riesgo, que supone un planteamiento nuevo en el Quinto Informe de Evaluación, ayuda a la toma de decisiones en el contexto del cambio climático. Las personas y las sociedades pueden percibir o jerarquizar los riesgos y los beneficios potenciales de formas diferentes, según los diversos valores y objetivos (IPCC, 2014).

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad viene dada por los riesgos relacionados con el clima interactúan con otras fuentes de estrés biofísico y social. En el Tercer Informe de Evaluación del IPCC (2001) vulnerabilidad está definida en términos de susceptibilidad y como una "función del carácter, la magnitud y el índice de variación climática a que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación. Desde entonces, comprensión de la vulnerabilidad ha adquirido más complejidad como concepto multidimensional, con mayor atención a la relación con condiciones estructurales de pobreza e inequidad (IPCC, 2014).





Fotografía por Erick Ross Salazar,
Fundación MarViva.



Fotografía por Erick Ross Salazar,
Fundación MarViva.



El Quinto Informe de Evaluación define vulnerabilidad sencillamente como la propensión o predisposición a ser afectado adversamente e identifica vulnerabilidades a través de riesgos sociales, particularmente en economías de bajo ingreso. Estudios recientes sugieren que impactos del clima podrían frenar o revertir desarrollo logrado anteriormente; perjudicar esfuerzos globales para la reducción de pobreza y dar paso a inseguridad ambiental e humana, desplazamiento y conflicto, mal-adaptación y sinergias negativas (IPCC, 2014).

Exposición

Este es el grado de exposición en que una comunidad o un ecosistema entran en contacto con los efectos del cambio climático, debido a su localización y al sitio e intensidad con que ocurren los efectos respectivos. Por ejemplo, las edificaciones turísticas cerca de la pleamar tienen una alta exposición al incremento del nivel del mar. Un hotel o muelle ubicado dentro de una bahía está menos expuesto a los embates de tormentas, que uno frente a mar abierto. Los arrecifes someros están más expuestos a los aumentos en la temperatura superficial del mar (Secaira *et al.*, 2012).

Sensibilidad

Es el grado en que una comunidad o un ecosistema se ven afectados negativamente por los cambios en el clima. La sensibilidad de las personas y comunidades depende del grado en que sus bienes y medios de vida sean afectados por los cambios ambientales, así como también los elementos de soporte para el funcionamiento de los ecosistemas (Secaira *et al.*, 2012).

Capacidad adaptativa

Es el potencial que tiene una comunidad o un ecosistema para adaptarse a los impactos del cambio climático. Así, hay especies que muestran resiliencia e incluso su abundancia y diversidad cambia en la medida que predominan las especies resistentes a los cambios, adaptándose a estos. El tipo y abundancia de las especies determinan esta capacidad de adaptación.

Un ecosistema aislado y separado de corrientes marinas que traigan nuevos nutrientes, genomas y que lo limpien de sedimentos, está en menor capacidad de

adaptación que aquel que esté en sitios de mayores dinámicas oceánicas. La capacidad de adaptación es el componente de vulnerabilidad más susceptible a ser modificado (Wongbusarakum & Loper, 2011), por lo tanto, las medidas de adaptación se enfocan primordialmente en este aspecto.

La adaptación al cambio climático es lograr que los sistemas naturales y sociales sean menos vulnerables a sus efectos, mediante la reducción de la exposición y la sensibilidad, incrementando su capacidad adaptativa.

La adaptación al cambio climático de las comunidades costeras, su infraestructura y sus medios de vida, e incluso la AMPR Paquera-Tambor se fundamenta en tres grandes resultados (adaptado de USAID, CRC-URI, IRG, 2009 en Secaira *et al.*, 2012) vitales para construir la resiliencia al cambio climático y reducir su vulnerabilidad:

- Infraestructura menos expuesta y más resistente, considerando infraestructura, transporte y servicios.
- Medios de vida resilientes: el turismo, la pesca y la agricultura se basan en el uso de recursos naturales sanos y funcionales, con prácticas correctas, que generan ingresos razonables a los pobladores locales.
- Ecosistemas sanos y funcionales, que soportan los medios de vida de la sociedad y los sistemas de protección natural de la costa y las cuencas.

Impactos esperados

Los impactos del cambio climático alcanzan el nivel socioeconómico con efectos sobre el sector agropecuario, la pesca, el transporte, la hidroenergía, el abastecimiento de agua para el consumo humano y la industria, la salud, la navegación fluvial, sobre riesgos y desastres naturales, además de la población y asentamientos humanos (Bedoya *et al.*, 2010). Estos impactos tienen, en algunos casos, severas consecuencias sobre las economías nacionales. También representa la pérdida gradual del capital natural con decaimiento de la belleza escénica y el deterioro de algunos valores en el marco de los servicios ecosistémicos.

Infraestructura costera

La exposición y sensibilidad, aunada a la poca adaptabilidad al cambio climático de cierta infraestructura costera, lleva a severos impactos. Esto incluye aquella infraestructura desarrollada en algunas de las AMPR que no han considerado esta variable en su desarrollo, así como en las facilidades gubernamentales afincadas en estos sitios. En aquellas áreas núcleo con población y desarrollo costero, es inminente la integración de esta variable en las pautas futuras de urbanismo, pero también considerarla en los planes de los servicios públicos de estas áreas.

La severidad de catástrofes climáticas, el aumento del nivel del mar, la corriente directa sobre la costa por la pérdida de servicios de contención de la erosión, entre otros, ponen en riesgo severo la infraestructura costera, la inversión pública y privada, así como una variedad de servicios públicos.

Pesquerías

Los factores ambientales, tanto abióticos como bióticos, desempeñan un rol clave en la regulación de la abundancia de las especies y, especialmente, en las primeras fases de su ciclo de vida. En este caso, las condiciones ambientales regulan la mortalidad de los estadios planctónicos, la dispersión, las condiciones de alimentación y la localización de áreas de refugio o crecimiento. Estos factores ambientales se ven afectados por el cambio climático y fenómenos con El Niño (Díaz *et al.*, 2004).

El camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*), presenta una estimulación de la CPUE correlacionada al aumento de caudal rivereño, cuando este implica un aumento de volumen de agua dulce alcanzando la zona costera, ya que ello significa la entrada de nutrientes al sistema y el favorecimiento de la productividad biológica (Díaz *et al.*, 2004). El entendimiento de estas relaciones ambientales con el reclutamiento de las especies es relevante para acciones de adaptabilidad a los efectos del cambio climático.



Fotografía por Erick Ross Salazar,
Fundación MarViva.

La forma más fácil en que una variable climática puede condicionar un proceso dinámico radica en su modificación de la tasa per cápita de la mortalidad o la natalidad mediante el incremento o limitación de elementos importantes tal como la oferta de alimento. No obstante, los efectos del clima pueden ser no lineales y presentar sus efectos en desfases o actuar en sinergia con la participación de varias variables (Lima, 2006).

La tasa de cambio demográfico depende de la diferencia entre las tasas de natalidad (N) y la mortalidad (M). Por tanto, los efectos directos del clima en N o M o en ambas determinarán la posibilidad de que se extienda o aminore el ámbito de distribución de la población. Esto es lo que se conoce como perturbación vertical del clima (Lima, 2006). Esta tasa también explica la expansión geográfica de enfermedades, la colonización de especies marinas hacia latitudes polares, entre otros.

Un efecto colateral de El Niño es la afectación a las poblaciones de anchovetas en el sistema de la corriente de Humboldt, por una reducción en la oferta de alimento. Aunque parece ser que este mismo efecto colateral favorece las poblaciones de sardinas, dado que en periodos productivos la carencia de espacio y la abundancia de depredadores mantienen limitadas las poblaciones de sardina (Lima, 2006). Caso similar se ha encontrado con *Cetengraulis mysticetus* y *Opisthonema sp.*, especies comunes de sardinas en el Golfo de Nicoya, donde estas llegan a representar importantes rubros en la pesquería y se ven afectadas por las variables climáticas (Zapata, 2014).

Los eventos meteorológicos, sumados a eventos climáticos de mesoescala como El Niño y La Niña, afectan de varias maneras la pesca del atún, además de otros pelágicos como el dorado (Pérez, 2008).

Los disturbios provocados por alteraciones del clima, cada día más frecuentes y estimulados por el cambio climático, tales como huracanes, son negativos desde el punto de vista socioeconómico por los impactos a la infraestructura y equipamiento pesquero.

Turismo

Sin duda alguna, la pérdida de algunos servicios ecosistémicos relativos al mar y la zona costera tienen efecto directo en la industria del turismo. Algunas de las alteraciones son: la pérdida de la belleza escénica, afectación a la salud de los ecosistemas foco de la atracción turística e incluso la producción de algunos bienes que son vitales para la industria del turismo.

Los daños a la infraestructura, los riesgos a la integridad humana por eventos catastróficos, la pérdida de bienes vitales como el agua potable, así como el daño a las atracciones turísticas y la belleza escénica son algunos de los impactos traídos por el cambio climático y que tocan fondo con severas consecuencias para las comunidades, para las AMPR y las economías de los países.

Ecosistemas marinos y costeros:

Hoffman *et al.*, (2009) establecieron los siguientes aspectos como implicaciones biológicas esperadas:

Plancton: debido a que la productividad primaria está extremadamente ligada a la surgencia de aguas profundas, cualquier decrecimiento en este fenómeno podría reflejarse rápidamente en la productividad. También se esperan cambios en la abundancia, así como una rotación de especies grandes a pequeñas, cambios en las floraciones de plancton y en los ciclos de reproducción, lo cual podría inducir un desfase entre el pico del fitoplancton y los ciclos reproductivos de algunas especies. Los ámbitos de distribución por latitud y por profundidad, así como la composición de las especies, estarían a favor de las especies mejor adaptadas al calentamiento y a condiciones bajas de pH. Además, las floraciones algales perjudiciales serían más frecuentes.

Peces y pesquerías: se afectará la reproducción y composición de especies, algunas serán beneficiadas por las condiciones del calentamiento, mientras que otras no. Los cambios de los ámbitos de distribución



serán evidentes, pero también afectarán la diseminación de enfermedades, parásitos y la distribución de especies invasivas exóticas. Asimismo, donde los cambios del clima afecten, se observarán el incremento de zonas hipóxicas, con la mortalidad de peces y crustáceos, lo cual podría manifestarse en conflictos por el acceso a zonas de pesca por parte de las comunidades.

Cetáceos: los mayores efectos que se prevén para este grupo serán en el suplemento alimenticio y sus efectos sobre la reproducción. El desplazamiento de especies y el incremento de la mortalidad son situaciones a tomar en cuenta como efectos potenciales sobre la población.

Sin embargo, la insuficiente información no permite hacer predicciones confiables sobre declives poblacionales. Además, se prevé la introducción de enfermedades y la reducción de alimento, lo que los podría poner en competencia con algunas pesquerías por la misma presa.



Fotografía por Erick Ross Salazar,
Fundación MarViva.

Tiburones: se prevén efectos más indirectos sobre las presas y el hábitat que directos sobre especies de tiburones en particular, debido a que estos son tolerantes a cambios en la salinidad, pH y oxígeno. La pérdida de manglares por el cambio en el nivel del mar o por cambios en la escorrentía desde tierra, así como pérdidas del arrecife coralino o los pastos marinos, afectarían sitios de reproducción y alimentación. Esto aunado al aumento de la frecuencia de las tormentas o fenómenos climáticos que afecten dichos hábitats.

Tortugas marinas: el incremento de la temperatura podría decrecer la sobrevivencia al anidar y la tasa de sexos de los neonatos sobrevivientes. El incremento del nivel del mar provocará la pérdida de sitios de anidación, especialmente en áreas donde no hay espacio para que la playa evolucione hacia atrás en el continente. También, el incremento de tormentas provocará efectos en los patrones de deposición de arena, en donde la

sedimentación podría ahogar los nidos. En el mar, los cambios de temperatura y los patrones de corrientes podrían afectar la distribución y migración de las tortugas. Enfermedades y escasez de alimento podrían darse con el cambio de la temperatura y la química del agua.

Arrecifes coralinos: se estima que el 20% del área cubierta por arrecifes a nivel global se ha perdido y que el 60% se perderá en las siguientes décadas por efectos del cambio climático (Carballo *et al.*, 2010). Impactos directos reconocidos son la bioerosión, la pérdida de coral vivo y el incremento poblacional de esponjas perforadoras coincidente con una merma en la producción de carbonatos a escala regional. En este sentido, los corales estarán expuestos al aumento del CO₂ atmosférico, el cual podría ser responsable de la disminución del pH de la superficie oceánica, que perjudicaría la formación de esqueletos y caparazones en los organismos que necesitan carbonato de calcio (Carballo *et al.*, 2010).

Las observaciones más recientes sobre los efectos del cambio climático y la adaptabilidad de los arrecifes coralinos es la presencia de simbioses de los corales con tolerancia al aumento de temperatura, lo que conlleva que ciertas especies de coral sean más tolerantes que otras provocando cambios en las estructuras del ecosistema (Carballo *et al.*, 2010).

Con respecto a los efectos del cambio climático como la modificación de los patrones de corrientes, el aumento de la temperatura del agua y la acidificación de ésta, estos definitivamente alterarán la estructura de las poblaciones y la función de muchas especies en el AMPR Paquera-Tambor. Lo anterior se da porque los atributos oceanográficos y de la biodiversidad en ese sitio dependen de la no alteración de ciertas variables que potencialmente se verían afectadas por el cambio climático.

En vista de que algunos de los cambios provocados por los efectos climáticos están favoreciendo ciertos grupos de flora y fauna, que incluso tienen "explosiones" demográficas, ciertos investigadores (Sala, 2006) bregan por el regreso de los grandes depredadores a las cadenas tróficas. Estos fungen como vectores de amortiguamiento a las descompensaciones poblacionales provocadas por el cambio climático.

En su conjunto, las razones anteriores, afectan las cadenas tróficas en el sitio y podrían llevar al agotamiento de ciertas pesquerías (Trujillo *et al.*, 2012).

Reflexiones finales

Potencial de adaptación

Los eventos de meso escala en la temática del cambio climático sucedidos en la zona del AMPR Paquera-Tambor no son probabilidades, sino eventos documentados y cuyos efectos poseen consecuencias ya medidas y evaluadas.

El análisis y las entrevistas a comunidades costeras realizadas en este estudio permiten identificar que algunos de los ecosistemas marinos del AMPR presentan, como respuesta natural, adaptabilidad por selectividad de especies, cambios estructurales en las poblaciones e incluso áreas de distribución.

El potencial del AMPR Paquera-Tambor en lo relativo al cambio climático estriba en la puesta en ejecución de medidas desde el ámbito local, nacional y regional, que permitan monitorear los cambios estructurales y funcionales de ecosistemas y especies marinas compartidas, plantear medidas de ordenamiento de usos sobre la base de la adaptabilidad, desarrollar estudios de la vulnerabilidad al cambio climático como una unidad de manejo, así como evaluar los efectos de este fenómeno global sobre sus servicios ecosistémicos.

Amenazas derivadas del cambio climático

Una enumeración rápida de las amenazas incluye afectaciones a la industria pesquera, a la industria turística, al desarrollo urbano de la línea de costa, a las economías locales en las AMPR y las ligadas al aprovechamiento de los servicios ecosistémicos. La pérdida de volumen de captura, belleza escénica, infraestructura, servicios públicos, ecosistemas y sus especies y vida humana, son algunas de las amenazas más importantes que presenta esta situación para el AMPR Paquera-Tambor.

Desafortunadamente, el monitoreo sistemático y comparativo de los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas es algo que no se ha desarrollado, no fue posible determinar la información detallada.

Lecciones aprendidas

En vista de lo investigado, cabe destacar las siguientes lecciones en el marco del AMPR Paquera-Tambor:

- Los ministerios estatales, en una buena cantidad, no alcanzan a llevar acciones de adaptación a la costa, enfocándose en zonas geográficas alejadas de la misma. Adicionalmente, generan políticas de alto nivel que no se implementan localmente.
- El tema de la vulnerabilidad y adaptabilidad al cambio climático no alcanza medidas concretas de manejo en las zonas costeras o sobre el uso de recursos de la biodiversidad (ej. ordenamiento pesqueras, urbanismo en zona costera, ordenamiento de espacios marinos y costeros, etc.). Las municipalidades no abordan este tema a nivel de política de gestión del territorio.
- Hay información pesquera y oceanográfica de utilidad para análisis de escenarios de trabajo con las comunidades, particularmente en pesquerías a nivel del AMPR Paquera-Tambor.
- Las características organizativas y concientización de las comunidades y asociaciones que conforman el AMPR Paquera-Tambor permiten la implementación de medidas de adaptabilidad en las zonas costeras (ej. vedas, rotación de zonas pesqueras, regeneración de ecosistemas bentónicos, etc).
- Las AMPR, el INCOPECA y otras instancias de gobierno no están desarrollando políticas de acción efectivas para analizar los efectos del cambio climático sobre los recursos pesqueros.

Divulgación y sensibilización

Erick Ross Salazar

Durante la ejecución del proyecto se realizaron actividades de divulgación y sensibilización para involucrar a las comunidades en las temáticas de pesca responsable y cambio climático. En total se realizaron 8 talleres a los cuales se invitaron integrantes de las comunidades costeras del AMPR, especialmente aquellos de Playa Blanca, Paquera y Tambor (Figura 19).

Asistieron representantes de las asociaciones de pescadores de Paquera y Tambor, de ASPARMAR, de COOPEPROMAR y de la asociación de buzos de Paquera. Adicionalmente, participaron funcionarios del INCOPESCA, Ministerio de Ambiente, Servicio Nacional de Guardacostas, Instituto Costarricense de Puertos del Pacífico, Ministerio de Educación, Instituto Nacional de Aprendizaje, Universidad Nacional y Fundación Corcovado.

Los talleres generaron capacidades en cambio climático (tres talleres), pesca responsable (dos talleres) y una combinación de ambos (tres talleres). En total se capacitaron a 169 participantes de las comunidades, de los cuales el 47% fueron mujeres; a 15 funcionarios de instituciones de gobierno, de los cuales el 40% fueron mujeres; se realizaron tres talleres con niños de la región,

alcanzando a más de 150 niños, y se entregó material para dar alcance a otros 400 niños de escuelas de la región.

El proyecto incluyó el desarrollo de herramientas para adultos y niños de las comunidades costeras relacionados a cambio climático y pesca responsable.

- Se reimprimió la Guía de Conceptos y Procedimientos Orientados hacia una Pesca Responsable de Fundación MarViva (Ross Salazar & Alfaro, 2014) (Figura 20).
- Se produjo un póster informativo sobre la temática del cambio climático que se distribuyó en las comunidades y colegios de la zona. El mismo se acompañó de una tabla de mareas para el año 2018 con el fin de hacerlo más atractivo para los pescadores (Figura 21).
- Se produjo una guía de bolsillo que incorporó temas de cambio climático y la tabla de mareas para el 2018 con el fin de que fuese una herramienta útil para los pescadores que les recordara el tema de cambio climático durante el año (Figura 22).



Figura 19. Capacitación en temas de pesca responsable y cambio climático.



Cuerda de mano

NOMBRE COMÚN	GRADO DE SELECTIVIDAD:	AMBIENTE DE USO:
<ul style="list-style-type: none"> Linea de mano Cuerda de mano Cuerda de mano Manulina 	Alto TIPO DE ARTE: Pesca	<ul style="list-style-type: none"> Agua abierta Agua costera Playas
RECURSO OBJETIVO: <ul style="list-style-type: none"> Peces demersales Peces pelágicos 		

Cuerda de mano

DESCRIPCIÓN GENERAL:

La cuerda de mano es un arte de pesca simple. Consiste de un carrete donde se enrolla una línea de monofilamento al extremo de la cual se sujeta uno o varios anzuelos. En ocasiones se coloca un peso para que el anzuelo se hundiera. En el anzuelo se coloca una carnada natural, de peso moderado la carnada, la línea se recoge manualmente. Este tipo de pesca se puede realizar desde la orilla o desde una embarcación.

RECOMENDACIONES:

La cuerda de mano es uno de los artes de pesca más selectivos, ya que permite seleccionar con facilidad los peces que se van a retener y los que se van a liberar, además permite la salida de ejemplares comerciales o por que no cumplen con la talla mínima de captura.

El tamaño del anzuelo a utilizar varía según la especie objetivo y la zona del fabricante, generalmente los anzuelos J 4 0 y 7 y anzuelo 4 0 son considerados ideales para la pesca de sardinas y perlas, para capturar individuos de mayores tallas y tener mayor pesca incidental de juveniles.

Para la captura de carnada (caridídeo, crustáceo y otros peces pesqueros) el anzuelo J 4 0 es el adecuado en el tamaño.

Figura 20. Guía de conceptos y procedimientos orientados hacia una pesca responsable.



JUNIO 2018

DÍA	HORA	MAREA	DÍA	HORA	MAREA
Junio 1, 2018	04:29	2.58	Junio 8, 2018	22:25	2.17
	10:33	0.32		04:21	0.54
	16:47	2.68		10:52	2.44
Junio 2, 2018	22:59	0.10	Junio 9, 2018	17:06	0.48
	05:29	2.53		23:22	2.24
	11:13	0.38		05:16	0.47
Junio 3, 2018	17:27	2.85	Junio 10, 2018	11:44	2.67
	23:28	0.77		18:05	0.33
	06:01	2.48		00:16	2.36
Junio 4, 2018	11:54	0.46	Junio 11, 2018	06:09	0.37
	18:08	2.49		12:25	2.72
	00:18	0.26		18:51	0.17
Junio 5, 2018	06:43	2.61	Junio 12, 2018	01:08	2.80
	12:28	0.53		07:07	0.29
	18:52	2.28		13:25	2.87
Junio 6, 2018	01:00	0.26	Junio 13, 2018	19:41	0.30
	07:29	2.29		01:58	2.46
	13:25	0.60		07:53	0.13
Junio 7, 2018	19:39	2.27	Junio 14, 2018	14:14	3.30
	01:45	0.45		20:30	-0.14
	08:16	2.32		02:47	2.79
Junio 8, 2018	14:16	0.64	Junio 15, 2018	08:44	0.31
	20:31	2.19		15:03	3.39
	02:04	0.32		21:19	-0.25
Junio 9, 2018	09:07	2.31	Junio 16, 2018	03:37	2.90
	15:11	0.64		09:35	-0.06
	21:27	2.15		15:53	3.13
Junio 10, 2018	03:26	0.50	Junio 17, 2018	22:08	-0.29
	09:59	2.26		04:27	2.97
	16:09	0.58		10:29	-0.07

JUNIO 2018

DÍA	HORA	MAREA	DÍA	HORA	MAREA
Junio 16, 2018	16:45	3.11	Junio 24, 2018	12:05	2.63
	22:58	-0.28		18:26	0.34
Junio 17, 2018	05:19	2.98	Junio 25, 2018	00:39	2.37
	11:21	-0.04		06:36	5.47
Junio 18, 2018	17:27	3.02	Junio 26, 2018	12:06	2.66
	23:50	-0.21		18:17	0.30
Junio 19, 2018	06:13	2.95	Junio 27, 2018	01:30	2.41
	12:16	0.24		07:26	5.45
Junio 20, 2018	18:32	2.89	Junio 28, 2018	13:43	2.67
	00:43	-0.09		20:02	0.24
Junio 21, 2018	07:08	2.80	Junio 29, 2018	02:16	2.46
	13:15	0.14		08:11	5.44
Junio 22, 2018	19:30	2.73	Junio 30, 2018	14:26	2.69
	01:39	0.04		20:43	0.19
Junio 23, 2018	08:06	2.80	Junio 1, 2019	02:59	2.61
	14:16	0.29		08:53	5.42
Junio 24, 2018	20:31	2.58	Junio 2, 2019	15:07	2.70
	02:38	0.20		21:22	0.15
Junio 25, 2018	09:07	2.72	Junio 3, 2019	03:39	2.55
	15:20	-0.32		09:33	5.40
Junio 26, 2018	21:25	2.45	Junio 4, 2019	10:46	2.70
	03:29	0.32		21:09	0.14
Junio 27, 2018	10:09	2.66	Junio 5, 2019	04:19	2.58
	16:26	0.36		10:12	0.40
Junio 28, 2018	22:40	2.38	Junio 6, 2019	16:25	2.68
	04:41	0.41		22:36	0.1
Junio 29, 2018	11:08	2.63	Junio 7, 2019	05:41	0.46
	17:29	0.38			
Junio 30, 2018	23:42	2.35			
	05:41	0.46			

Figura 22. Guía de bolsillo para pobladores costeros con temas de cambio climático y tabla de mareas.

- Se produjo un libro de colorear para niños explicando la temática del cambio climático en lenguaje sencillo (Figura 23).
- Se produjo un libro de colorear para niños explicando la temática de la pesca responsable en un lenguaje sencillo (Figura 24).
- Se produjo un bolso alusivo al proyecto del cambio climático con el fin de entregar los libros de colorear y lápices de colores a los niños de las comunidades aledañas al área de estudio en un paquete divertido (Figura 25).
- Se produjeron mapas indicando los ecosistemas vulnerables del AMPR Paquera Tambor (manglares y arrecifes) que se compartieron con Fundación Corcovado con el fin de cooperar con la ejecución de su proyecto hermano en la zona (Figura 3).
- Se produjeron mapas parlantes con los participantes de los talleres para identificar las zonas del AMPR más vulnerables al cambio climático (Figura 26).



Figura 23. Libro de colorear sobre cambio climático para niños.



Figura 24. Libro de colorear sobre pesca responsable para niños.



Figura 25. Paquete de libros de colorear sobre cambio climático y pesca responsable, bolso y lápices de colores entregados a niños.

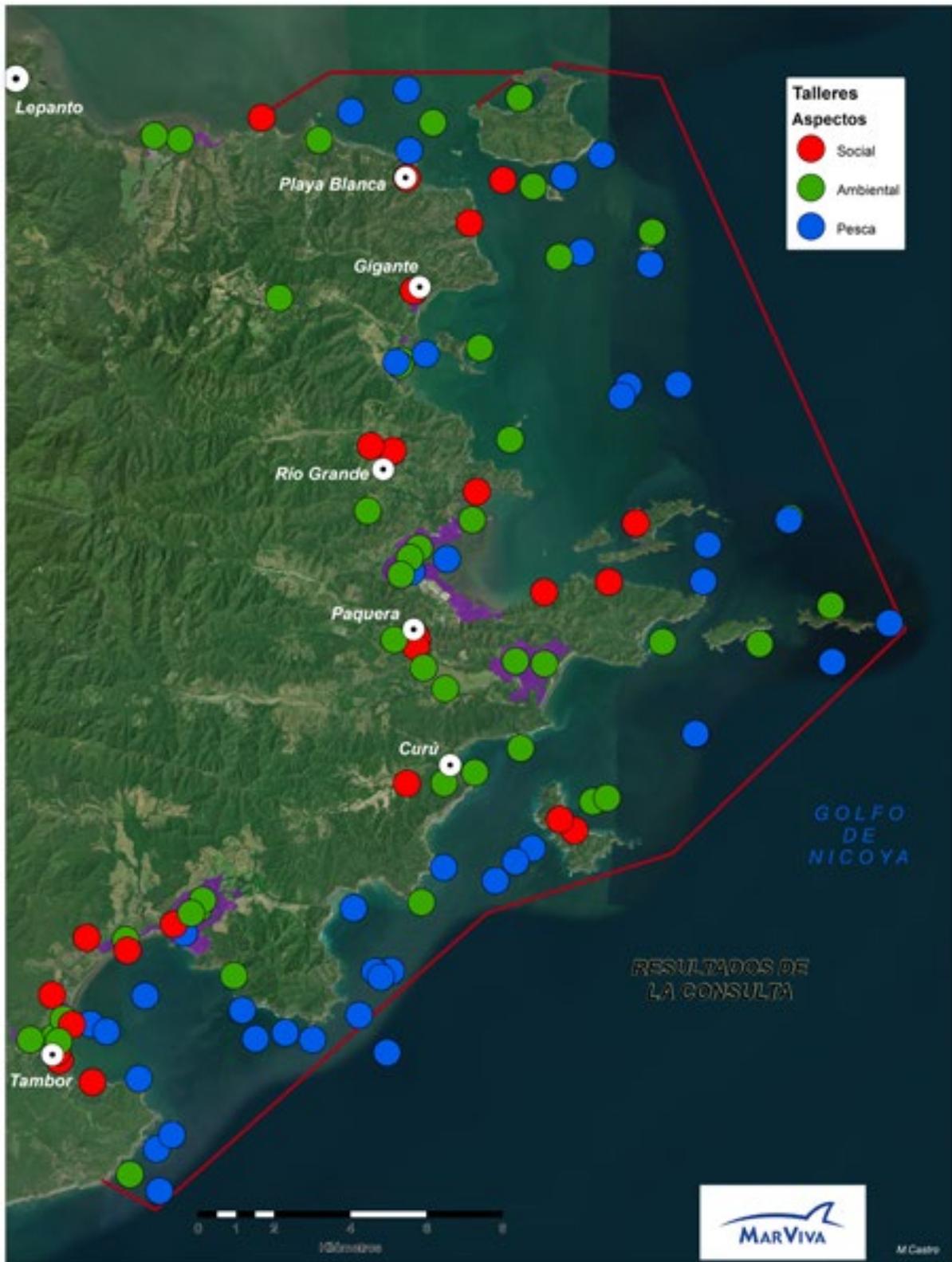


Figura 26. Mapa parlante desarrollado con los participantes de los talleres para identificar las zonas del AMPR Paquera-Tambor más vulnerables, relacionadas a aspectos sociales, ambientales y pesqueros, al cambio climático.

Conclusiones

El cambio climático es un fenómeno ambiental cuyos efectos no se pueden detener, sin embargo, se puede mejorar la resiliencia de las comunidades costeras y los hábitats marinos por medio de una planificación adecuada.

El proyecto "Adaptación de las comunidades costeras vulnerables ante las amenazas inminentes del cambio climático en el área de Paquera, Puntarenas" permitió identificar la afectación que tendrá el AMPR Paquera-Tambor a futuro, mejorar el conocimiento de las comunidades costeras de los impactos del cambio climático y generar recomendaciones para paliar sus efectos.

Este AMPR muestra cómo la cooperación entre comunidades, autoridades y organizaciones no gubernamentales puede brindar frutos y generar una gestión coordinada de los recursos marinos. Es necesario que la comisión que vela por esta zona amplíe su campo de acción e influencia para incorporar el tema del cambio climático y los efectos que tiene sobre los servicios ecosistémicos de los que dependen las comunidades (pesca, turismo, navegación).

Las amenazas a los ecosistemas prevén la pérdida de funcionalidad de los servicios ecosistémicos, afectando su alcance, intensidad y contribución a las actividades socio-económicas desarrolladas en el AMPR. La vulnerabilidad de las comunidades costeras y la magnitud del problema vuelve necesaria que las autoridades, tanto a nivel local como nacional, colaboren y actúen junto con las comunidades para poder afrontar esta amenaza.

El conocimiento directo de los efectos que el cambio climático tendrá en los ecosistemas, los recursos compartidos y las comunidades costeras permite planificar con tiempo las acciones necesarias. La identificación realizada por el proyecto de los sitios más adecuados para ejecutar actividades de repoblamiento de manglar y construcción de arrecifes artificiales permite enfocar esfuerzos sobre las zonas que darían mayor probabilidad de éxito a estas actividades.

Adicionalmente, se provee la oportunidad a los gobiernos locales de planificar junto con las comunidades costeras la reubicación de los asentamientos que se verán afectados por el incremento en el nivel del mar y la fuerza de las mareas y oleaje.

Es importante considerar las siguientes acciones como prioritarias para enfocar los esfuerzos de autoridades y comunidades:

- Fortalecimiento del programa de reforestación de manglares y construcción de arrecifes artificiales con el fin de aumentar la resiliencia de ecosistemas y especies claves.
- Planificación de medidas para aumentar la resistencia de infraestructura costera y reubicación de infraestructura en sitios altamente vulnerables.

- Establecer protocolos, bases de datos y equipamiento para el monitoreo del cambio climático.
- Coordinación de los gobiernos locales con las comunidades para el ordenamiento territorial, en áreas núcleo basado en medidas de adaptación al cambio climático.
- Continuación del programa de la Universidad Nacional que evalúa los recursos pesqueros del AMPR.
- Proyectos de repoblamiento con especies nativas claves y en estado de declive.
- Análisis de los efectos del cambio climático sobre especies migratorias, especialmente para el dorado y atún, especies claves en las capturas de las comunidades del AMPR.
- Instaurar proyectos alternativos que incrementan los ingresos de los pescadores artesanales, así diversificando la base productiva.
- Desarrollar alianzas público-privadas para la búsqueda de financiamiento para el tema y para el desarrollo de iniciativas locales y regionales.
- Poner en práctica mecanismos de gestión de la zona costera y pesquerías que incluyan el tema del cambio climático, en alianza con los gobiernos municipales y locales, tal como retiros de la zona costera y rehabilitación de ecosistemas.
- Desarrollar el monitoreo a largo plazo de los Elementos Focales de Manejo (EFM) del AMPR Paquera-Tambor en el marco de alianzas públicas y público-privadas. Tal como poblaciones de especies pesqueras, especies indicadoras y ecosistemas críticos.
- Compilar y sintetizar la información generada durante los años de forma que sea de fácil acceso a nivel local y permita la toma de decisiones informadas.
- Generar un programa de comunicación que difunda las acciones de la iniciativa en lo relativo a los impactos del cambio climático es parte de las acciones urgentemente requeridas.

Apéndice

Bases de datos consultadas.

CAMS_OPI-OLR: técnica de la estimación de la precipitación que produce análisis de precipitación mensual en tiempo real a nivel global. Combina datos de estaciones meteorológicas y satélite. Resolución de 2,5 x 2,5 grados.

CMAP: estima precipitación mensual a nivel global desde estaciones meteorológicas y estimaciones de varios satélites (infrarrojos y microondas). Resolución de 2,5 x 2,5 grados. CMIP5: producción primaria de carbono orgánico ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Interpolación con modelo numérico. Resolución de 1 x 1 grados.

COPERNICUS (*Marine Environment Monitoring Service*): base de datos europea con resultados de modelos numéricos, algunos con asimilación de datos de boyas, barcos y satélites. La salinidad y temperatura se ofrece a nivel global en una resolución espacial de 5 minutos. La clorofila y el oxígeno disuelto. Resolución de 0,25 grados.

CPC: precipitación basada en estaciones meteorológicas e interpolación numérica con observaciones del proyecto COADS y datos de satélite. Resolución de 0,5 x 0,5 grados.

ECMWF-ORA-S3: análisis y re-análisis. Resultado de modelación numérica con asimilación de datos en tiempo real. Resolución de 1 x 1 grados.

GODA (NCEP Global Ocean Data Assimilation System): Resultado de modelos numéricos. Usa re-análisis atmosféricos de NCEP para generar salinidad y temperatura del mar. Resolución de 1 x 1 grados.

HADLEY CENTRE: re-análisis de observaciones de perfiles de temperatura y salinidad. Resolución de 1 x 1 grados.

ICOADS (International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set): observaciones e interpolaciones por varios sistemas de observación desde barcos, derivadores y boyas ancladas y plataformas submarinas. Resolución de 1 x 1 grados.

MODIS: Datos de sensores de satélites de NASA MODIS a bordo del satélite Agua and Terra. Resolución de 0,05 x 0,05 grados.

NCEP2 (NCEP Climate Forecast System Version 2 (CFS v2)): modelo numérico completamente acoplado que representa la interacción entre la atmósfera, el océano, la tierra y las capas de hielo. Resolución de 0,5 x 0,5 grados.

SEAWIF: datos del satélite SEAWIF. Resolución de 0,25 x 0,25 grados.

TOPEX: anomalías del nivel del mar, datos combinados de los satélites TOPEX Poseidon, ERS y Jason 1. Resolución de 1/3 de grado.

WAVEWATCHIII: modelo numérico de pronóstico de oleaje que utiliza datos de viento del modelo Global Forecasting System (GFS), este último, un modelo con asimilación de datos de estaciones terrestres, oceánicas y satélites. Resolución de 1,25 x 1 grado.

WHOI: Interpolaciones desde datos *in situ* e integrados de satélites y anclajes superficiales, reportes de barcos y con información meteorológica de modelos superficiales re-analizados. Resolución de 1 x 1 grados.

Referencias

Alfaro, E. & J. Amador. 1996. El Niño-Oscilación del Sur y algunas series de temperatura máxima y brillo solar en Costa Rica. *Top. Meteor. Oceanogr.* 3(1): 19-26.

Alfaro, E. & J. Amador. 1997. Variabilidad y cambio climático en algunos parámetros sobre Costa Rica y su relación con fenómenos de escala sinóptica y planetaria. *Top. Meteor. Oceanogr.* 4(1): 51-62.

Anadón, R. 2009. El cambio climático: efectos en los ecosistemas marinos y en el sector pesquero. En: *Cambio climático global*. Calabuig, L. (ed.). Fundación MonteLeón. 54-67.

Atkins J.P., D. Burdon, M. Elliot & A. J. Gregory. 2011. Management of the marine environment: Integrating ecosystem services and societal benefits with the DPSIR framework in a systems approach. *Marine Pollution Bulletin* 62: 215-226.

Beaumont N. J., M. C. Austen, J. P. Atkins, D. Burdon, S. Degraer, T. P. Dentinho, S. Derous, P. Holm, T. Horton, E. van Ierland, A. H. Marboe, D. J. Starkey, M. Townsend & T. Zarzycki. 2007. Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity: Implications for the ecosystem approach. *Marine Pollution Bulletin* 54: 253-265.

Bedoya, M., C. Contreras & F. Ruiz. 2010. Alteraciones del régimen hidrológico y de la oferta hídrica por variabilidad y cambio climático. *Estudio Nacional del Agua*. Capítulo 7. IDEAM. 40pp.

Behrenfeld, M. J., R. T. O'Malley, D. A. Siegel, C. R. McClain, J. L. Sarmiento, G. C. Feldman, A. J. Milligan, P. G. Falkowski, R. M. Letelier & E. S. Boss. 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature* 444: 752-755.

Bindoff, N. L., J. Willebrand, V. Artale, A. Cazenave, J. M. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C. Le Quere, S. Levitus, Y. Nojiri, C. K. Shum, L. D. Talley & A. S. Unnikrishnan. 2007. Observations: oceanic climate change and sea level. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, S. Solomon et al. (Eds.) Cambridge University Press: 385-432.

BIOMARCC-SINAC-GIZ. 2013a. Evaluación de las pesquerías en la zona media y externa del Golfo de Nicoya, Costa Rica. San José-Costa Rica. 54pp.

BIOMARCC-SINAC-GIZ. 2013b. Análisis de vulnerabilidad de las zonas oceánicas marino-costeras de Costa Rica frente al cambio climático. San José-Costa Rica. 103pp.

BIOMARCC-USAID. 2013. Vulnerabilidad y escenarios bioclimáticos de los sistemas marino-costeros a nivel del Caribe centroamericano. San José, Costa Rica. 80pp.

Blanco, O. 1994. La Cuenca del Golfo de Nicoya: un reto al desarrollo sostenible. San José, Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 336pp.

Blank, L. 1980. Statistical Procedures for Engineering, Management and Science. McGraw-Hill, Nueva York. 649pp.

Boyd J. & S. Banzhaf. 2007. What are ecosystems services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics* 63: 616-626.

Brenes, C. L. & J. Chaves. 2001. Variación de las propiedades termohalinas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 49(2): 145-152.

Brenes, C. L.; J. E. Coen; D. B. Chelton; D. B. Enfield; S. León & D. Ballester. 2003. Wind driven upwelling in the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Int. Journal of Remote Sensing*: 24(5): 1127-1133.

Brenes, A. & V. F. Saborío. 1994. Changes in the General Circulation and its influence on precipitation trends in Central America: Costa Rica. *Ambio.* 23(1): 87-90.

Broecker, W. S. 1997. Thermohaline circulation, the Achilles Heel of our climate system: Will man-made CO upset the current Balance? *Science* 278: 1582-1588.

Caldeira, K. & M. E. Wickett. 2003. Oceanography: Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature* 425: 365.

Carballo, J., E. Bautista, H. Nava & J. Cruz. 2010. Cambio Climático y Ecosistemas costeros; bases fundamentales para la conservación de los arrecifes de Coral del Pacífico Este. En: Hernández, A. & P. Alcolado (Eds). *La biodiversidad en ecosistemas marinos y costeros del litoral de Iberoamérica y el cambio climático: Memorias del Primer Taller de la Red CYTED BIOVMAR.* La Habana. 183-193 p.

Castro, C., S. Troeng, L. Monterrosa, D. Campbell & E. Chamorro. 2000. Valoración económica del daño ecológico causado al medio ambiente referente a la caza de la tortuga verde (*Chelonia mydas*). Limón, Costa Rica. Sinac-CCC.

Cazenave, A. & W. Llovel. 2010. Contemporary sea level rise. *Annual Review of Marine Science*, pp. 145-173.

Chacón, A.; H. Araya; A. R. Vásquez; R. Brenes; B. Marín; J. A. Palacios; R. Soto-Rojas; F. Mejía-Arana; Y. Shimazu & K. Hiramatsu. 2007. Estadísticas pesqueras del Golfo de Nicoya, Costa Rica 1994-2005. INCOPESCA; UNA; JICA: 300p.

Chaves, J. & M. Birkicht. 1996. Equatorial subsurface water and the nutrient seasonality of the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (3): 41-47.

Constanza R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. O'Neil, J. Paruelo, R. Raskin, P. Sutton & M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.

Cortés, J., C. Jiménez, A. Fonseca & J. Alvarado. 2010. Status and conservation of coral reefs in Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 58 (Supl. 1): 33-50.

Díaz, J., Rodríguez, E. & R. Álvarez. 2004. Oscilaciones quasi-bienales de un índice del reclutamiento del camarón *Litopennaeus occidentalis* con relación a la variabilidad climática del Pacífico oriental tropical. Contribuciones al Estudio de los crustáceos del Pacífico Este, 3: 1-13.

Dickson, R.; B. Rudels; S. Dye; M. Karcher; J. Meincke & I. Yashayaev (2007). Current estimates of freshwater flux through Arctic and subarctic seas. Progress in Oceanography Vol. 73(3-4): 210-230.

EPYPSA. 2014. Manejo integrado de recursos marino costeros en Puntarenas. Ordenamiento espacial marino de las áreas marinas de uso múltiple (AMUM) Golfo de Nicoya y Pacífico Sur. Plan OEM AMUM Golfo de Nicoya. Proyecto BID-Golfos. Fundación MarViva. San José, Costa Rica. 194pp.

Eyre, B. & P. Balls. 1999. A comparative study of nutrient behavior along the salinity gradient of tropical and temperate estuaries. Estuaries 22: 313-326.

FAO. 2008. Report of the FAO Expert Workshop on Climate Change. Implications for Fisheries and Aquaculture. FAO Informe de Pesca: 870. 32 pp.

FAO. 2011. Cambio climático, pesca y acuicultura en América Latina Potenciales impactos y desafíos para la adaptación. Taller FAO/Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sur Oriental (COPAS). Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

FAO. 2012. Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura. Visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos. 237 pp.

FAO. 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all. Rome. 200 pp.

Forest Trends, Grupo Katoomba & PNUMA. 2010. Pago por Servicios Ambientales: Primeros Pasos en Ecosistemas Marinos y Costeros. Forest Trends, Grupo Katoomba & PNUMA.

GLOBEC. 2003. Marine Ecosystems and Global Change. IGBP Science 5: 1-32.

Graham, C. T. & C. Harrod. 2009. Implications of climate change on the fishes of the British Isles. Journal of Fish Biology 74: 1143-1205.

Guzmán, H. M., C. A. Guevara & O. Breedy. 2004. Distribution, diversity, and conservation of coral reefs and coral communities in the largest marine protected area of Pacific Panama (Coiba Island). Environmental Conservation 31: 111-121.

Henson, S. A., J. L. Sarmiento, J. P. Dunne, L. Bopp, I. Lima, S. C. Doney, J. John & C. Beaulieu. 2010. Detection of anthropogenic climate change in satellite records of ocean chlorophyll and productivity. Biogeosciences 7: 621-640.

Hernández Noguera, L. A., J. L. Vega Alpízar & R. L. Soto Rojas. 2017. Caracterización, selectividad y efectos de los artes de pesca utilizados por la flota pesquera artesanal

en el Área Marina de Pesca Responsable Paquera-Tambor, Golfo de Nicoya. Universidad Nacional. Escuela de Ciencias Biológicas

Hidalgo, H. G., E. J. Alfaro & B. Quesada-Montano. 2016. Observed (1970–1999) climate variability in Central America using a high-resolution meteorological dataset with implication to climate change studies. *Climatic Change*: DOI 10.1007/s10584-016-1786-y

Hoffman, J. R., A. Fonseca & C. Drews. 2009. Cetaceans and Other Marine Biodiversity of the Eastern Tropical Pacific: Options for Adapting to Climate Change. Report from a workshop held February 9-11, 2009. MINAET/WWF/EcoAdapt/CI/IFAW/TNC/WDCS/IAI/PROMAR, San Jose, Costa Rica.

ICES. 2003. ICES annual report for 2002. International Council for the Exploration of the Sea. 330pp.

INCOPESCA. 2008. Reglamento para el establecimiento de áreas marinas para la pesca responsable (de conformidad con el Decreto Ejecutivo N° 27919-MAG). Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura. San José, Costa Rica. AJDIP N° 138-2008. La Gaceta. N° 81.

INCOPESCA. 2011. Establece área marina de pesca responsable de Tárcoles. Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura. San José, Costa Rica. AJDIP N° 193. La Gaceta. N° 159.

INCOPESCA. 2014. Plan de ordenamiento pesquero Área Marina de Pesca Responsable del Distrito Paquera-Tambor (POP-AMPR-D. Paquera-Tambor). Puntarenas, Costa Rica.

IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 881pp.

IPCC. 2013. *Cambio climático: bases físicas. Resumen técnico y preguntas frecuentes.* 204pp.

IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D., Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido, y Nueva York, Estados Unidos. 1132 pp.

Jaimes, E. 1999. Condiciones meteorológicas a nivel global y local, Cambio climático y "El Niño 1997-98". En: Tarazona J. & E. Castillo (Eds). *El Niño 1997-98 y su impacto sobre ecosistemas marino y terrestre.* Rev. Peru. Biol. Vol. Extraordinario, 6(3): 1-8.

Kress, N., S. Brenner, S. León Coto, C. L. Brenes & C. Arroyo. 2002. Horizontal transport and seasonal distribution of nutrients, dissolved oxygen and chlorophyll- a in the Gulf of Nicoya, Costa Rica: a tropical estuary. *Cont. Shelf Res.* 22: 51-66.

Lima, M. 2006. Los efectos ecológicos de las fluctuaciones climáticas. *Investigación y Ciencia*, 358: 46-52.

Lizano, O. G. 2016. Distribución espacio-temporal de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto alrededor del Domo Térmico de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 64(1): S135-S152.

Lizano, M. A. & O. G. Lizano. 2010. Creación de escenarios de inundación en la Ciudad de Puntarenas ante el aumento del nivel del mar. *InterSedes. Universidad de Costa Rica.* XI (21): 215-229.

Lizano, O. G. & D. M. Salas. 2001. Variaciones geomorfológicas de la Isla Damas, Quepos en los últimos 50 años. "Ecosistemas Acuáticos de Costa Rica". *Rev. Biol. Trop.* 49(2): 171-177.

Manzello, D. P., I. C. Enochs, A. Bruckner, P. G. Renaud, G. Kolodziej, D. A. Budd & P. W. Glynn. 2014. Galápagos coral reef persistence after ENSO warming across an acidification gradient. *Geophysical Research Letters*, 41: 9001-9008.

McKenzie, L. (2008). *Seagrass Educators Handbook*. Sea Grass Watch HQ. Australia. 20pp.

Millenium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington, D.C.

Morales, A. 2011. La diversidad marina del Golfo Dulce, Pacífico Sur de Costa Rica: Amenazas a su conservación. *Biocenosis*, 24: 9-20.

Naber H., G. M. Lange & M. Haziolos. 2008. *Valuation of Marine Ecosystem Services: A Gap Analysis*. The World Bank. Washington, D.C.

OLDEPESCA. 2009. Efectos de las principales alteraciones atmosféricas y oceanográficas sobre la actividad pesquera de los países miembros de OLDEPESCA. Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero. OLDEPESCA-XXI-CM-2010-DI.20. San Francisco de Campeche, México. 111pp.

Olsen, P. 2003. Coastal stewardship in the anthropocene. p. 5-36. In S.B. Olsen (ed.) *Crafting coastal governance in a changing world*. CRN/USAID. Coastal Resources Center, University of Rhode Island. 375pp.

Ortiz, E. 2008. *Atlas digital de Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Osborn, T. J., M. Hulme, P. D. Jones & T. A. Basnett. 2000. Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation. *International Journal of Climatology* 20: 347-364.

Pagiola S. 2008. Payments for Environmental Services in Costa Rica. *Ecological Economics* 6 (4): 712-724.

Palter, J., S. León & D. Ballestero. 2007. The distribution of nutrients, dissolved oxygen and chlorophyll a in the upper Gulf of Nicoya, Costa Rica, a tropical estuary. *Rev. Biol. Trop.* 55 (2): 427-436.

Pauly, D. & J. Ingles. 1999. The relationship between shrimp yields and intertidal vegetation (mangrove) areas: a reassessment. In: Yanez-Arancibia, A. & A. L. Lara-Dominguez (eds). *Mangrove Ecosystems in Tropical America*. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Mexico; UICN/ORMA Costa Rica; NOAA/NMFS Silver Spring, Maryland. pp.311-316.

Pérez, H. 2008. Huracanes y la captura de atún por la flota atunera cerquera mexicana en el Pacífico Oriental. *PNAAPD. El Vigía* 13(34): 16-19.

Peterson, C. 1958. The Physical Oceanography of the Gulf of Nicoya, Costa Rica, a Tropical Estuary. *Bull. Inter. Am. Trop. Tuna Com.* 3: 139-188.

Pourrut, P. 1986. Algunas consideraciones acerca de los fenómenos climáticos extremos observados en el Ecuador. *Actas del Coloquio Ecuador* 27(3): 449-457.

Pourrut, P. & G. Gómez. 1998. El Ecuador al cruce de varias influencias climáticas; Una situación estratégica para el estudio del Fenómeno del Niño. *Bull. Inst. fr. études andines.* 27 (3): 449-457.

Reyes, V. & R. Sánchez. 2011. Evaluación de los niveles actuales de financiamiento de las AMP's. Proyecto: Consolidación de las AMP's de Costa Rica. MINAET-SINAC. 73 p.

Richardson, A. J. & D. S. Schoeman. 2004. Climate impact on plankton ecosystems in the North East Atlantic. *Science* 305: 1609-612.

Roessig, J. M., C. M. Woodley, J. J. Cech Jr. & L. J. Hansen. 2004. Effects of global climate change on marine and estuarine fishes and fisheries. *Reviews of Fish Biology and Fisheries* 14: 251-275.

Ross Salazar, E. & J. F. Alfaro. 2014. Guía de conceptos y procedimientos orientados hacia una pesca responsable. Fundación MarViva. San José, Costa Rica. 44 pp.

Sala, E. 2006. Top predators provide insurance against climate change. *Trends in Ecology and Evolution*, 21: 479-480

Secaira, F., L. Corrales & C. Zepeda. 2012. Estrategias de adaptación para zonas marino-costeras frente a los impactos del cambio climático en el Caribe de Belice, Guatemala y Honduras. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y el Programa del Arrecife Mesoamericano, The Nature Conservancy. Proyecto de Manejo de Recursos Acuáticos y Alternativas Económicas de US-AID. 72 p.

Southward A. J., S. J. Hawkins & M. T. Burrows. 1995. Seventy years of changes in the distribution and abundance of zooplankton and intertidal organisms in the western English Channel in relation to rising sea temperature. *Journal of Therm. Biol.* 20: 127-155.

Steward, R.H. 2008. Introduction to Physical Oceanography. 345 pp.

Sumaila, U. R., W. Cheung, A. Dyck, K. Gueye, L. Huang, V. Lam, D. Pauly, T. Srinivasan, W. Swartz & R. Watson. 2012. Benefits of rebuilding global marine fisheries outweigh costs. PLoS One Vol. 7(7): e40542p.

TEEB. 2010. The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations. Pushpam Kumar (ed). Earthscan, London and Washington.

The World Bank. 2013. Fish to 2030: prospects for fisheries and aquaculture. Agriculture and environmental services discussion paper 03: World Bank Report Number 83177-GLB.

Trujillo, P., A. Cisneros-Montemayor, S. Harper & D. Zeller. 2012. Reconstruction of Costa Rica's Marine fisheries catches (1950-2008). Fisheries Centre. The University of British Columbia. Working Paper Series 2012-03. 22p.

Vargas, G. & C. Gómez. 2003. La desertificación en Colombia y el Cambio Global. Cuadernos de Geografía, 12(1-2): 121-134.

Wang, X. L., Y. Feng & V.R. Swail. 2014. Changes in global ocean wave heights as projected using multimodel CMIP5 simulations. Geophys. Res. Lett. 41: doi:10.1002/2013GL058650.

Wongbusarakum, S. & C. Loper. 2011. Indicators to assess community-level social vulnerability to climate change: An addendum to SocMon and SEM-Pasifika regional socioeconomic monitoring guidelines. The Nature Conservancy and the NOAA Coral Reef Conservation Program.

Wunder S. 2005. Payments for Environmental Services: Some nuts and bolts. CIFOR Occasional Paper Nr. 42 Center for International Forestry Research.

Wunder S., S. Engel & S. Pagiola. 2008. Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. Ecological Economics, 65: 834.

Zapata, L. 2014. Efectos ocasionados por eventos climáticos en la pesquería de pequeños pelágicos en el Pacífico de Colombia. En: Herrera-Carmona, J. C., L. A. Zapata y X. Moreno-Gutiérrez (Editores) 2014. Vulnerabilidad, cambio climático y estrategias de adaptación en áreas marinas y costeras del Pacífico colombiano. WWF-Colombia. Bogotá, D. C. Colombia, 40 p.

Zeller, D., S. Booth & D. Pauly (2007). Fisheries contributions to GDP: underestimating small-scale fisheries in the Pacific. Marine Resource Economics Vol. 21: 355-374p.



La FUNDACIÓN MARVIVA es una organización regional, no gubernamental y sin fines de lucro, cuya área de acción se encuentra en zonas seleccionadas del Pacífico Este Tropical. Tiene como objetivo impulsar la conservación y el uso sostenible de los recursos marinos y costeros en el Pacífico Este Tropical, para que este sea biodiverso, saludable y generador de bienestar para las presentes y futuras generaciones.

NUESTRAS OFICINAS.

COLOMBIA +571 743 - 5207
PANAMÁ +570 317 - 4350
COSTA RICA +506 2290 - 9600

BÚSQUENOS TAMBIÉN EN:



Para colaborar con nuestra gestión:
donaciones@marviva.net
www.marviva.net

Con el aporte
del Fondo de
Adaptación.



ADAPTATION FUND



COMISIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO



MINAE



Fundación para la Cooperación



CRUSA
Fundación para la Cooperación