

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Universidad Nacional de Costa Rica
Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica.**

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

UNA
UNIVERSIDAD
NACIONAL
COSTA RICA


UNED
UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA
Institución Benemérita de la Educación y la Cultura

**Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo,
Énfasis en Gestión de los Recursos Naturales**

 **DOCINADE**
Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo



**Estrategia de manejo de recursos ecosistémicos marino
costeros en el Caribe Sur de Costa Rica, orientada a la
adaptación a la variabilidad climática de las comunidades
costeras**

Doctorante:

Lilliana María Piedra Castro.

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.

2017

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Universidad Nacional de Costa Rica
Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica.**

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

UNA
UNIVERSIDAD
NACIONAL
COSTA RICA



**Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo,
Énfasis en Manejo de Recursos Naturales**



**Estrategia de manejo de recursos ecosistémicos marino-
costeros en el Caribe Sur de Costa Rica, orientada a la
adaptación a la variabilidad climática de las comunidades
costeras**

Doctorante:

Lilliana María Piedra Castro.

Tutora:

Dra. Aida Caridad Hernández Zanuy

Asesores:

**Dr. Luis Sierra Sierra
Dr. José Miguel Pereira Chaves**

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.

2017.

Tribunal Examinador

Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR)
Universidad Nacional (UNA)
Universidad Estatal a Distancia (UNED)

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

UNA
UNIVERSIDAD
NACIONAL
COSTA RICA



“Estrategia de manejo de recursos ecosistémicos marino-costeros en el Caribe Sur de Costa Rica, orientada a la adaptación a la variabilidad climática de las comunidades costeras”.

Trabajo sometido a consideración del Tribunal Evaluador como requisito para optar por el grado de Doctor en Ciencias Naturales para el Desarrollo, con énfasis en Gestión Recursos Naturales

Lilliana María Piedra Castro
Sustentante

Dr. Freddy Araya Rodríguez
Representante de la coordinación

Dr. Cristian Moreira Segura
Representante de Posgrados

Dra. Aida Hernández Zanuy
Tutora

Dr. José Miguel Pereira Chaves
Asesor

Dr. Luis Sierra Sierra
Asesor

Noviembre 2017

Dedicatoria

A mis padres que me han apoyado en cada locura que he emprendido. Los amo.

Papi (QDDG), ya no falta mucho

A Adrián (QDDG), a punto de poder recetarle algo

A Pedro Alcolado (QDDG) por su apoyo incondicional y modelo de científico

A mis hijas, Ale y Cris por tantos momentos difíciles y maravillosos que hemos pasado
juntas

A mis hermanas y amigas, Fresia y Kattia, las amo inmensamente

Agradecimientos

A la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional por el apoyo incondicional a través de los proyectos Biodiversidad Marina y Costera en el Caribe de Costa Rica: Contribución a la Gestión Ambiental para la Adaptación al Cambio Climático (023555-00) y Indicadores ambientales en ecosistemas marinos y costeros para la definición de estrategias de conservación y manejo en dos áreas protegidas en el Caribe Sur de Costa Rica (0166-12) que contaron con apoyo del Fondo Institucional de Desarrollo Académico (FIDA).

A los funcionarios del Parque Nacional Cahuita y a los del Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo y a Jorge González por su apoyo. A Manuel Mairena y Randall Villalta que realizaron los traslados marinos.

A Maikol Castillo, Marco Ramírez, Vanessa Morales y José Pablo Carvajal por sus aportes y por su amistad incondicional. Porque a pesar de no recibir ningún beneficio me han ayudado incansablemente. Se les quiere mucho

A las comunidades costeras donde se trabajó por apoyarnos y contribuir con sus importantes aportes

A mi equipo asesor Aida Hernández, Luis Sierra y José Miguel Pereira por las observaciones al manuscrito, pero, sobre todo, por el apoyo y paciencia durante todo el proceso. Gracias por su calor humano, por la hermosa experiencia de conocerlos y formar parte de tantos procesos de formación académica, pero sobre todo de sensibilización.

A la Red del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED): Adaptación basada en Ecosistemas para la gestión sostenible de los recursos marinos del Caribe, CARIBero S.O.S. (www.cariberoso.org) (CIF V82311770) por el apoyo técnico y la posibilidad de evaluación del trabajo por parte de los miembros de la Red.

Al proyecto de cooperación Sur – Sur Innovative Application of ICTs in Addressing Water-related Impacts of Climate Change de la University of Nairobi, Kenya y International Development Research Center (IDRC), Canadá por el apoyo financiero y por las oportunidades de intercambio científico y capacitación.

Índice General

Tribunal Examinador	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Índice General	VII
Índice de cuadros	IX
Índice de figuras	X
Índice de Anexos	XII
Siglas y Acrónimos	XIII
Introducción	15
Área de estudio	18
Capítulo I	22
Composición y estructura de las comunidades arrecifales en el Caribe Sur, Limón, Costa Rica	22
Resumen	22
Abstract	23
Introducción	24
Materiales y métodos	25
Análisis de datos	26
Resultados	27
Riqueza de especies	27
Discusión	40
Referencias bibliográficas	45
Capítulo II	50
Variabilidad espacio temporal de las condiciones biofísicas del mar y sus implicaciones en dos áreas protegidas del Caribe Sur de Costa Rica	50
Resumen	50
Abstract	51
Introducción	52
Materiales y métodos	54
Análisis de los datos	58
Resultados	59
Precipitación mensual (PM)	59
Temperatura superficial del mar (TSM)	63
Clorofila (Chl a)	69
Coeficiente de atenuación difusa (K490) (CAD)	72
Materia orgánica disuelta (MOD)	75
Discusión	80
Referencias bibliográficas	90
Capítulo III	96

Caracterización de la respuesta de las comunidades locales a la influencia directa de la variabilidad climática en el Caribe Sur de Costa Rica.....	96
Resumen.....	96
Abstract.....	97
Introducción.....	98
Materiales y métodos.....	101
Resultados.....	103
Discusión.....	111
Referencias bibliográficas.....	117
Capítulo IV.....	122
Estrategia de manejo de los recursos marinos y costeros del Caribe Sur, Costa Rica para la adaptación a la variabilidad climática.....	122
Planteamientos estratégicos.....	123
Visión y Misión.....	123
Actividades.....	125
Conclusiones generales.....	138
Recomendaciones generales.....	139
Referencias bibliográficas generales.....	140
Anexos por capítulo.....	142
Capítulo 1.....	142
Capítulo II.....	145
Capítulo III.....	165

Índice de cuadros

Cuadro 1. Resumen de los objetivos, variables y técnicas que se desarrollan en este documento por capítulo	17
Cuadro 2. Riqueza de especies de corales, macroalgas y fanerógramas marinas registradas en cuatro localidades del Caribe Sur de Costa Rica.	28
Cuadro 3. Porcentajes de cobertura e índices para los corales y macroalgas de cuatro localidades del Caribe Sur de Costa Rica.	30
Cuadro 4. Separación de comunidades según ANOSIM (valores de p), basado en 10000 permutaciones. Significancia al 95%.	37
Cuadro 5. Porcentaje de disimilitud de especies de coral entre 4 sitios del Caribe Sur de Costa Rica.	37
Cuadro 6. Disimilitud específica por taxón entre Isla Uvita-Cahuita, Caribe Sur, Costa Rica.	37
Cuadro 7. Disimilitud específica por taxón entre Cahuita-Puerto Viejo, Caribe Sur, Costa Rica.	38
Cuadro 8. Disimilitud específica por taxón entre Puerto Viejo- Manzanillo, Caribe Sur, Costa Rica.	38
Cuadro 9. Diferencias de la distribución de las precipitaciones medias (PM) mensuales en el Caribe Sur de Costa Rica para los años 2001 y el 2013.	60
Cuadro 10. Cambio en las temperaturas superficiales del mar nocturnas (4 Micrones). Signo positivo denota aumento. Signo negativo denota disminución.	63
Cuadro 11. Principales especies de interés económico pesquero en el Caribe Sur reportadas por los usuarios en el Caribe Sur.	104
Cuadro 12. Principales usos por localidad en el Caribe Sur.	106
Cuadro 13. Principales impactos percibidos por las comunidades locales en el Caribe Sur en relación con la variabilidad climática	109
Cuadro 14. Soluciones propuestas para mitigar los posibles impactos de la variabilidad climática sobre las comunidades locales	110
Cuadro 15. Líneas estratégicas, productos, acciones y condiciones para la implementación.	126

Índice de figuras

Figura 1. Área de estudio en el Caribe Sur, Limón, Costa Rica.	20
Figura 2. Familias de corales (a) y algas (b) representadas en el Caribe Sur, Limón, Costa Rica.	29
Figura 3. Porcentaje de cobertura del fondo marino por localidad en los arrecifes coralinos estudiados en el Caribe Sur, Limón, Costa Rica.	31
Figura 4. Diagrama de similitud, empleando la distancia Bray-Curtis, para la composición de especies de corales (a) y de algas (b) de las cuatro localidades estudiadas en el Caribe Sur, Limón, Costa Rica.	33
Figura 5. Diagrama del análisis de componentes principales por localidad de especies de corales (a) y macroalgas (b) en el Caribe Sur, Limón, Costa Rica.	35
Figura 6. Densidad de erizos observados en cuatro sistemas arrecifales del Caribe Sur, Limón, Costa Rica.	36
Figura 7. Diagrama del escalonamiento multidimensional no-métrico (estrés=21,24 %) que muestra la distribución espacial de la comunidad coralina en Isla Uvita, PNC, Puerto Viejo y REGAMA, Limón. Las elipses representan límites de confianza al 95%.	39
Figura 8. Distribución de las precipitaciones medias (PM) mensuales en el Caribe Sur de Costa Rica para las series pluviométricas 2001 y el 2013.	60
Figura 9. Distribución de las diferencias de precipitación mensual en el Caribe Sur de Costa Rica en los años 2001 y 2013. a) máxima diferencia en febrero - b) mínima diferencia en diciembre.	62
Figura 10. Temperaturas superficiales del mar por mes para los años 2001 y 2013 en el Caribe Sur de Costa Rica.	64
Figura 11. Distribución de las diferencias de temperatura superficial del mar en el Caribe Sur de Costa Rica en los años 2001 y 2013. a) mínima diferencia en febrero - b) Máxima diferencia en octubre.	66
Figura 12. Distribución de las diferencias de temperatura superficial del mar (TSM) en el Caribe Sur de Costa Rica en los años 2003 y 2013. A) mínima diferencia en enero - B) Máxima diferencia en setiembre.	68
Figura 13. Clorofila a mensual para los años 2001 y 2013 en el Caribe Sur de Costa Rica.	69
Figura 14. Distribución mensual de la temperatura superficial del mar (TSM) y de la concentración de la clorofila en el Caribe Sur en los años 2003 y 2013.	70
Figura 15. Distribución espacial de las diferencias de clorofila a en el Caribe Sur de Costa Rica en los años 2001 y 2013. a) junio - b) setiembre.	71
Figura 16. Distribución espacial de la diferencia del coeficiente de atenuación difusa (K-490) (CAD) en el Caribe Sur de Costa Rica en los años 2001 y el 2013.	73
Figura 17. Distribución mensual del coeficiente de atenuación difusa (K490) (CAD) para los años 2003 y 2013 en el Caribe Sur de Costa Rica.	74
Figura 18. Distribución temporal de las diferencias de la materia orgánica disuelta (MOD) en el Caribe Sur de Costa Rica para los años 2003 y el 2013.	75

Figura 19. Distribución espacial de la diferencia para la materia orgánica disuelta (MOD) en el Caribe Sur de Costa Rica para los años 2003 y 2013	76
Figura 20. Distribución espacial de las diferencias e implicaciones de los parámetros temperatura superficial del mar (TSM), clorofila (Chl a), coeficiente de atenuación difusa (K490) (CAD) y materia orgánica disuelta (MOD) en el Caribe Sur de Costa Rica en los años 2001-2013.	77
Figura 21. Distribución espacial de las diferencias mensuales de los parámetros temperatura superficial del mar (TSM), clorofila, atenuación difusa (K490) (CAD) y materia orgánica disuelta (MOD) en el Caribe Sur de Costa Rica para los años 2003 y 2013. a) febrero y b) octubre. Los puntos señalados en azul están reportados como zonas de pesca.....	79
Figura 22. Ubicación de infraestructura en la zona pública y restringida de la zona marítima terrestre.	108

Índice de Anexos

Anexo 1. Listado de especies identificadas en los arrecifes coralinos en cuatro localidades en el Caribe Sur, Costa Rica.	142
Anexo 2. Evidencia documental de los arrecifes evaluados	144
Anexo 3. Diferencias mensuales de la variable precipitación mensual para los meses de enero, febrero, marzo y abril para los años 2003 y 20013 en el área de estudio	145
Anexo 4. Diferencias mensuales de la variable temperatura superficial del mar (TSM) para los meses de enero, febrero, marzo y abril para los años 2003 y 20013 en el área de estudio	148
Anexo 5. Diferencias mensuales de la variable clorofila a (Chl a) para los meses de enero, febrero, marzo y abril para los años 2003 y 20013 en el área de estudio	151
Anexo 6. Diferencias mensuales de la variable atenuación difusa (K490) (CAD) para los meses de enero, febrero, marzo y abril para los años 2003 y 20013 en el área de estudio.	154
Anexo 7. Diferencias mensuales de la variable materia orgánica disuelta (MOD) para los meses de enero, febrero, marzo y abril para los años 2003 y 20013 en el área de estudio	157
Anexo 8. Diferencias mensuales de la combinación de condiciones biofísicas del mar para los meses de enero, febrero, marzo y abril para los años 2003 y 20013 en el área de estudio	160
Anexo 9. Prueba de Mann-Whitney comparación entre promedios de temperatura.	163
Anexo 10. Prueba de test pareado de Wilconson para las diferencias de la TSM del 2003 y 2013 en el área de estudio	163
Anexo 11. Resumen de estadísticas prueba de comparación de medias t student del coeficiente de atenuación difusa (K490-CAD) (m^{-1})	164
Anexo 12. Comparación de medias de la atenuación difusa (K490) (CAD) entre el 2003 y el 2013.....	165
Anexo 13. Encuesta aplicada para la recolección de información sobre usos y ecosistemas	165
Anexo 14. Evidencia documental de los procesos de adaptación.....	167

Siglas y Acrónimos

ACLAC	Área de Conservación La Amistad Caribe
AGRRA	Evaluación rápida del arrecife del Atlántico y del Golfo / Atlantic and Gulf Rapid Research Assessment
ANOSIM	Análisis de similaridad
Chl a	Concentración de clorofila
EMDN	Análisis de Escalamiento No métrico
MEP	Ministerio de Educación Pública
PM	Precipitación mensual
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
BHT	Bosque Húmedo Tropical
CITES	Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres
CONAVI	Consejo Nacional de Vialidad
CRRH	Comité Regional de Recursos Hidráulicos
CUN Limón	Colegio Universitario de Limón
ENOS	Fenómeno de El Niño - Oscilación Sur
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura/ Food and Agriculture Organization of the United Nations
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INA	Instituto Nacional de Aprendizaje
INCOPESCA	Instituto Costarricense de la Pesca y la Acuicultura
INDER	Instituto de Desarrollo Rural
K490-CAD	Coeficiente de atenuación difusa a 490 nm
MIDEPLAN	Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MINAET	Ministerio del Ambiente Energía y Telecomunicaciones
MOD	Materia orgánica disuelta
MOPT	Ministerio de Obras Públicas y Transportes
NASA	Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio
NMDS	Escalamiento multidimensional no-métrico / Non-metric multidimensional scaling
OBPG	Grupo de Procesamiento del Océano y de Biología
PNC	Parque Nacional Cahuita

PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PV	Puerto Viejo
REGAMA	Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo
RNVS Limoncito	Refugio Nacional de Vida Silvestre Limoncito
SIMPER	Análisis de porcentajes de similitud
TOVAS	Sistema de visualización y análisis en línea / Online Visualization and Analysis System
TRMM	Misión de medición de lluvias tropicales / Tropical Rainfall Measuring Mission
TSM	Temperatura superficial del mar
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

Introducción

Una de las mayores riquezas con las que cuentan los países es su biodiversidad que incluye las especies y los ecosistemas. En Costa Rica, esta riqueza ha sido reconocida a nivel internacional, como alta en relación con otras latitudes. Se nos reconoce además, porque conservamos importantes superficies de bosque original con baja presión por modificaciones (alrededor del 25% del territorio), así como áreas marinas con importantes valores para su conservación (INBio, 1999).

Estos espacios naturales ofrecen a las comunidades una serie de bienes y servicios que contribuyen al bienestar humano, ya que tienen valor económico para las comunidades locales dado que se han identificado usos actuales y potenciales para la seguridad alimentaria y la salud de la humanidad, así como la importancia ecológica y económica a nivel local, regional y mundial. Incluso se ha considerado el rol del significado universal de la biodiversidad en virtud de las funciones que cumple para la salud del planeta Tierra y para la sostenibilidad de las comunidades locales e indígenas (UNESCO, 2010).

A pesar de su valor, estos ecosistemas se encuentran sometidos a presiones que pueden provocar su deterioro e incluso, su desaparición en el planeta. Tales amenazas están asociadas con las actividades antrópicas siendo relevantes el cambio del uso del suelo, la utilización de agroquímicos, el crecimiento de la población, la contaminación del agua, del aire y del suelo, la sobreexplotación de especies de interés comercial como peces, moluscos, crustáceos, entre otros, como la variabilidad climática. Estas amenazas afectan los ecosistemas terrestres, dulceacuícolas, estuarinos y marinos (Comunidades Europeas, 2008).

Diversas investigaciones han demostrado los múltiples impactos de estas acciones sobre la biodiversidad y los ecosistemas a nivel mundial, nacional y local (Casasola, Ibrahim, Sepúlveda, Ríos y Tobar 2009; Ávila, Jiménez, Beer, Gómez y Ibrahim 2001; Jiménez 2009; Ordaz-Díaz, Ramírez, Mora-Alfaro, Acosta, y Serna-Hidalgo 2010). Sin embargo, la información generada en materia de ecosistemas marinos es escasa principalmente a nivel nacional, donde los esfuerzos en gestión, investigación, implementación y divulgación han sido limitados. En estos ambientes la temática de

cambio climático y variabilidad climática no han sido atendidas con la profundidad que merecen. Probablemente porque la política nacional en ambiente y biodiversidad en Costa Rica, ha estado orientada a atender las problemáticas del continente que a las del mar, a pesar de que el área marina del país es de mayor tamaño que el área terrestre.

Ante esta paradoja, se propone atender dos elementos claves y urgentes; el primero de estos, el estado de conservación de los arrecifes de coral y el segundo, como actúa la variabilidad climática sobre el mar y los posibles impactos sobre los primeros, premisa que supone que el sistema climático está determinado por la interacción entre la atmósfera y el mar. Este último, es perturbado por los cambios en los vientos, la temperatura atmosférica, la precipitación, los aportes continentales de agua dulce, así como la evaporación.

Estas interacciones han producido cambios que han sido reportados en distintas investigaciones como incrementos de temperatura, cambio en la estacionalidad e intensidad de algunos procesos oceánicos, cambios en el pH del agua, entre otros. Estos cambios podrían estar relacionados con la variabilidad climática y estar generando múltiples respuestas directas e indirectas que interaccionan con los usos humanos y la resiliencia de los diversos ecosistemas (Proyecto ECCE, 2005).

Ante estas condiciones, la gestión de los recursos marinos y costeros, tanto las especies como los ecosistemas debe ser discutida y trabajada desde la perspectiva multiespecífica y ecosistémica que permita favorecer la búsqueda de soluciones para mitigar los impactos generados por las actividades humanas directas, y su interacción con la influencia de la variabilidad climática (Anadón, Duarte y Fariña, 2005).

En este trabajo, el problema de investigación planteado fue ¿Cómo pueden las comunidades costeras propiciar el manejo de los recursos marinos y costeros de forma que puedan adaptarse a las variabilidad climática?. A partir del cual se propuso como objetivo general plantear una propuesta de gestión de los recursos ecosistémicos marino-costero en el Caribe Sur de Costa Rica, orientada a la adaptación de las comunidades costeras a partir del análisis espacio-temporal de indicadores ambientales y socioeconómicos.

Para el cumplimiento del mismo, se desarrollaron cuatro objetivos específicos planteados por capítulos. En el primer capítulo se evaluó la composición y estructura de la comunidad coralina somera en cuatro localidades en el Caribe Sur de Costa Rica para

proponer medidas que contribuyan con la conservación de éstos. En el segundo capítulo se determinó la variabilidad espacio-temporal de las condiciones biofísicas del mar y sus implicaciones en dos áreas protegidas del Caribe Sur de Costa Rica.

El tercer capítulo se evaluó los mecanismos de adaptación de las comunidades costeras del Caribe Sur de Costa a los impactos de la variabilidad climática sobre los ecosistemas marinos y costeros para la reducción de la vulnerabilidad de las mismas. En tanto que el último capítulo, tuvo como objetivo la formulación de una estrategia que contenga las medidas y recomendaciones que contribuyan a la adecuada gestión de los recursos marinos y costeros en Costa Rica en el marco de la adaptación al cambio climático, donde se discute e integra los resultados obtenidos en los capítulos previos para formular una propuesta de gestión de los recursos marinos y costeros en el marco de la adaptación al cambio climático (Cuadro 1).

Cuadro 1. Resumen de los objetivos, variables y técnicas que se desarrollan en este documento por capítulo

Capítulo	Objetivo	Variables	Técnicas
Objetivo general: Plantear una estrategia de manejo de recursos ecosistémicos marino-costero en el Caribe Sur de Costa Rica, orientada a la adaptación de las comunidades costeras a partir del análisis espacio-temporal de indicadores ambientales y socioeconómicos.			
I	Evaluar la composición y estructura de la comunidad coralina somera en cuatro localidades (Isla Uvita, Cahuita, Puerto Viejo y Manzanillo) en el Caribe Sur de Costa Rica para proponer medidas que contribuyan con la conservación de éstos	Porcentaje de cobertura viva de corales Porcentaje de pastos marinos Porcentaje de macroalgas Porcentaje de fondo desnudo Número de erizos	Análisis de cuantitativos Metodología de AGRRA Versión 2.2 modificada, aplicada entre 1 y 6 m de profundidad, transectos de 1 m x 10 m
II	Determinar la variabilidad espacio-temporal de las condiciones biofísicas del mar y sus implicaciones en dos áreas protegidas del Caribe Sur de Costa Rica	Precipitación mensual Temperatura superficial del mar Concentración de clorofila a Coeficiente de atenuación difusa a 490 nm Materia orgánica disuelta	Análisis espacial de datos Mapas temáticos Sobreposición de mapas temáticos Categorización los sitios
III	Evaluar los mecanismos de	Revisión	Análisis

	adaptación de las comunidades costeras del Caribe Sur de Costa Rica a los impactos de la variabilidad climática sobre los ecosistemas marinos y costeros para la reducción de la vulnerabilidad de las mismas	bibliográfica Técnicas observación participante Entrevistas	de no de no de no	cualitativo: Revisión bibliográfica Técnicas observación participante Encuestas Validación
IV	Formular una propuesta de gestión de los recursos que contenga las medidas y recomendaciones que contribuyan a la adecuada gestión de los recursos marinos y costeros en Costa Rica en el marco de la adaptación al cambio climático	Línea estratégica Objetivo Meta Actividades Responsables Socios		Análisis cualitativo Información proveniente Artículo I Artículo II Artículo III

Área de estudio

La zona de estudio se encuentra dentro del Área de Conservación La Amistad Caribe (ACLAC) del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) que incluye los cantones de Talamanca y Limón, está es una región policultural, rica en biodiversidad y tradiciones donde conviven aborígenes latinos y descendientes de chinos y afro caribeños (ProAmbi, 1996).

Para fines de este estudio, el Caribe Sur de Costa Rica se delimitó desde el Cantón Central de la provincia de Limón hasta el río Sixaola, el cual forma una frontera natural con la República de Panamá (ICT, 2002). Para la evaluación arrecifal se analizaron cuatro localidades a saber; La Isla Uvita (N 9°59'27'', W 83°00'27'') frente a la ciudad de Limón; el Parque Nacional Cahuita (PNC) (N 9°44'58'', W 82°49'07''), frente a la comunidad de Puerto Viejo (PV) (N 9°39'30'', W 82°45'24'') y el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo (REGAMA) (N 9°38'03'', W 82°39'28''). Para el análisis social, se incluyó la localidad de Cieneguita, Limón (Fig. 1).

La zona de vida corresponde a Bosque Húmedo Tropical (BHT), es una región húmeda que alberga sistemas ecológicos que han permitido el desarrollo de actividades productivas y son importantes para la conservación de los recursos naturales (Ministerio del

Ambiente Energía y Telecomunicaciones (MINAET), Instituto Meteorológico Nacional (IMN), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH), 2008) y forma parte de un pequeño corredor arrecifal que conecta las áreas de la costa Caribe de Nicaragua y de Panamá. Y en Costa Rica incluye los parches arrecifales del PNC y el REGAMA.

El clima de la zona presenta una condición bimodal del periodos lluvioso; la primera se extiende de noviembre a marzo y la segunda de junio a agosto (Herrera, 1984), con precipitaciones de 4500 mm/año y una humedad relativa alta (IMN, 2008). Las mareas son mixtas, principalmente de tipo diurnas y con un intervalo pequeño de 30 a 50 cm. El oleaje entre enero y junio proviene del Noreste y del Este entre julio y diciembre, dependiendo de la posición de la Zona de Convergencia Inter Tropical. Las corrientes fluyen de Noroeste a Sureste con pequeños remolinos que viajan en dirección ciclónica, mediante las cuales se transportan sedimentos terrestres derivados de zonas ribereñas y de las áreas costeras deforestadas (Cortés y Risk, 1985; Cortés, 1997).

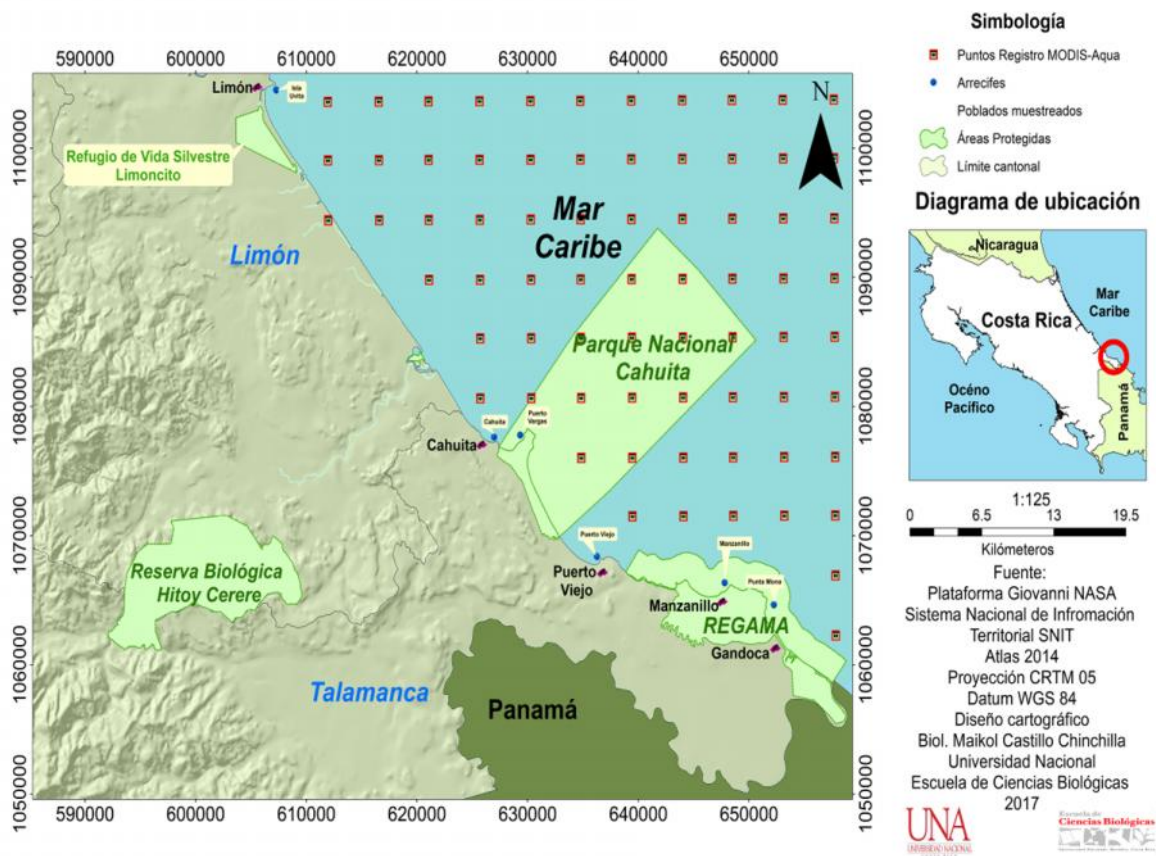


Figura 1. Área de estudio en el Caribe Sur, Limón, Costa Rica.

Los puntos rojos indican la ubicación de las comunidades humanas evaluadas, los cuadrados indican el origen de los datos biofísicos del mar y los puntos azules indican los sitios de muestreo de las comunidades arrecifales.

Dentro de esta región denominada Caribe Sur se encuentra inmersas tres áreas protegidas de interés: el Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Gandoca – Manzanillo, fue creado en julio de 1985 mediante el Decreto Ejecutivo 16614- MAF01 y fue declarado sitio RAMSAR el 11 de diciembre de 1995; este posee una porción terrestre y otra marina (Weitzner y Fonseca, 2000).

El Parque Nacional Cahuita fue creado por el Decreto Ejecutivo No. 1236-A, del 7 de septiembre de 1970, con el fin de proteger la flora y fauna, los arrecifes de coral y varios

ecosistemas marinos (Quesada, 1997). De igual forma, presenta una porción terrestre y otra marina.

El Refugio Nacional de Vida Silvestre Limoncito (RNVS Limoncito) fue establecido por Decreto Ejecutivo N° 23121, de febrero de 1994, con declaración de refugio estatal. Al analizar la situación legal de los terrenos, se concluyó que la mayoría se encontraban inscritos a nombre de particulares, modificándose el decreto en mayo de 1994, en el artículo número uno y se cambia a la categoría de refugio con carácter mixto (Piedra, Bravo y Salazar 2009), que solamente tiene porción terrestre.

En las llanuras se desarrollan cultivos como banano, tubérculos y granos (Morales, 2000). Los suelos se caracterizan por ser relativamente jóvenes con porcentajes altos de inceptisoles y andisoles (CNP, 2000). Forma parte de la vertiente Caribe, con cuencas de gran importancia como Sixaola, Estrella, Banano, Bananito, entre otras. Durante la noche predomina la brisa tierra-mar que viene del oeste y tiene baja velocidad y son producto de un rotor acentuado a la costa generando estabilidad en el viento. La precipitación anual es de 3000 a 2500 mm.

Capítulo I

Composición y estructura de las comunidades arrecifales en el Caribe Sur, Limón, Costa Rica

Resumen

La composición y la estructura de la comunidad coralina somera permiten evaluar el estado de conservación de estos ecosistemas, que son fundamentales para la gestión de los recursos de la biodiversidad marino-costera y para el beneficio de las economías locales. El objetivo de este estudio fue evaluar la composición y estructura de la comunidad coralina somera en cuatro localidades en el Caribe Sur de Costa Rica para proponer medidas que contribuyan con la conservación de éstos. Se trabajó la Isla Uvita, el Parque Nacional Cahuita (PNC), Puerto Viejo y el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo (REGAMA). Entre el 2011 y 2012, se utilizó la metodología de AGRRA Versión 2.2 modificada, aplicada entre 1 y 6 m de profundidad; se evaluó la cobertura del fondo marino para establecer la porción de corales vivos, pastos marinos, macroalgas y fondo desnudo (que agrupo las rocas, lodos y arenas), así como el número de erizos. Por medio de las pruebas de Jackknife de primer orden, la prueba de t-Student y los índices de Pielou y Berger-Parker se determinó el estado de los ecosistemas. Se realizó análisis de conglomerados y de componentes principales por sitios y por especies. En total, se identificaron 30 especies de corales pertenecientes a 15 familias, siendo Faviidae la más representada. Asimismo, se registraron 20 especies de macroalgas pertenecientes a 9 familias, las cuales mostraron mayor cobertura en Puerto Viejo y menor cobertura en el REGAMA. También se identificaron dos especies de fanerógamas marinas, que presentaron mayor cobertura en el REGAMA y menor cobertura en la Isla Uvita. Por otro lado, la mayor y menor cobertura de coral se registró en Isla Uvita y Puerto Viejo respectivamente, mientras que en las áreas protegidas de la zona se presentaron coberturas similares. La especie más abundante de erizos fue *Diadema antillarum*, cuyas densidades fueron altas en REGAMA y menores en el PNC. Se concluye que la composición y la estructura de la comunidad coralina somera de las cuatro localidades evaluadas para el Caribe Sur, va de regular, en Puerto Viejo a buena en la Isla Uvita.

Palabras clave: Caribe, Costa Rica, Arrecifes coralinos, Estructura, Composición.

Composition and structure of coral reef communities in the Southern Caribbean, Limon, Costa Rica

Abstract

The composition and structure of shallow coral reefs community allow the conservation evaluation of these ecosystems, which are priorities of protection at the coastal-marine biodiversity and local economies. The objective of this study was to know the composition and the structure of shallow coral reefs communities in 4 South Caribbean Coast locations in Costa Rica in order to propose conservations measures. The investigation took place at Isla Uvita, Parque Nacional Cahuita (PNC), Puerto Viejo and Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo (REGAMA). Between 2011 and 2012 AGRRA methodology was applied with his modified version 2.2 in a deepness 1 to 6 m; likewise the percentage of coverage was made for live corals, marine grass bed, macro algae and the background bare grouped the rocks, mud, sand and the number of sea urchin. Ecosystem analysis was done through the Shapiro-Wilks and Levene tests, the Jackknife, t-Student testing's, the Pielou evaluation rates and Berger-Parker analyze with the conglomerates analysis and the principal components classifications by sites and species. As a result, 30 different species of coral were identified corresponding to 15 families; where Faviidae family is the most representative. It was also identified 20 species of macro algae belonging to 9 families that have major coverage in Puerto Viejo and less in REGAMA. Two species of marine phanerogams were identifying and they presents major coverage in REGAMA and less coverage in Isla Uvita. On the other hand, the major and less coverage of coral was registering in Isla Uvita and Puerto Viejo respectively, while the protective areas present similar coverage. The most abundant species of sea urchin was *Diadema antillarum*, whose densities were higher in REGAMA and lower in PNC. Including the composition and structure of the shallow coral reefs community of the 4 locations evaluated for the South Caribbean, goes from regular in Puerto Viejo to good in Isla Uvita.

Key words: Caribbean, Costa Rica, Coral reefs, Structure, Composition

Introducción

El estado de conservación de los arrecifes coralinos es una preocupación creciente en la región Caribe, sin embargo no hay claridad en relación con las tendencias sobre su estado de conservación. En algunas localidades se han experimentado disminuciones importantes en la cobertura de estos. Un elemento particular que presentan dichos ecosistemas, es que el 36% de estos se ubican a menos de dos km de la costa lo que los hace vulnerables ante las presiones generadas por las poblaciones costeras, y que podría guardar relación con la reducción documentada desde el siglo anterior de la cobertura viva de corales (Gardner *et al.*, 2003; Burke y Maidens, 2004).

Alcolado *et al.*, (2000, 2009, 2010) indicaron que en Cuba se observaron reducciones de la cobertura de arrecifes coralinos y condiciones desfavorables cuando se presentaron actividades humanas cerca de estos ecosistemas. Sin embargo, en Bocas del Toro, Panamá, Guzmán y Guevara (1998) reportan arrecifes coralinos someros en buen estado, similar a lo que ocurre en los del Golfo de México y el Caribe Mexicano (Chaves, 2009).

En el caso de Costa Rica, en el Caribe Sur se reporta un desarrollo importante de arrecifes coralinos que se sitúan principalmente en tres zonas: Moín-Isla Uvita, Cahuita y Puerto Viejo-Punta Mona (Cortés, 1997; Cortés y Guzmán, 1985; Cortés y Jiménez, 2003). Se considera que el más desarrollado de éstos, desde el punto de vista ecológico, es el de Punta Cahuita (Cortés y Risk, 1984; 1985). Sin embargo, en este sitio se ha reducido la cobertura y la calidad de los mismos (Fonseca *et al.*, 2006). Sant *et al.*, (2003) observaron que las condiciones ambientales, la incidencia de descargas de agua dulce, de sedimentos y materiales en suspensión afectaron la diversidad y equitatividad de los arrecifes coralinos del Golfo de Cariaco en Venezuela.

Los cambios en los arrecifes coralinos son el resultado de presiones humanas como la sobrepesca, la contaminación, el incremento de la sedimentación y arrastre de nutrientes provenientes de la agricultura y las áreas urbanas que afectan su estructura y composición (Beltrán, Villasol, Botello y Palacios 2005). En los últimos años, la variabilidad climática ha influido sobre dichas presiones provocando un aumento en la frecuencia de aparición del blanqueamiento de los corales, a partir de una mayor incidencia de huracanes y tormentas

intensas que afectan directamente las estructuras coralinas (Wilkinson y Souter, 2008). Cambios en los patrones del clima son capaces de afectar el éxito de reclutamiento y la calcificación de los organismos que habitan en los arrecifes coralinos como resultado de la acidificación del mar (Albrigh et al., 2010).

Según Burke y Maiden (2004), en los próximos cincuenta años, la degradación de arrecifes podría causar pérdidas anuales, de 140 millones a 420 millones de dólares americanos a la región del Caribe por concepto de reducción de la protección al litoral. Entre los principales motores de cambio causantes del deterioro arrecifal de los últimos treinta años, Jackson *et al.*, (2014) mencionan la sobrepesca, la sobrepoblación turística, la contaminación costera, el calentamiento del mar y las bioinvasiones.

A pesar de la compleja situación que se presenta en los arrecifes coralinos del Caribe, éstos brindan servicios ecosistémicos fundamentales como el mantenimiento de la diversidad biológica, fijación de carbono, producción de biomasa pesquera para el consumo humano, mantenimiento de la actividad turística y tienen importancia económica y social (Spalding *et al.*, 2001; Conservation International, 2008). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la composición y estructura de la comunidad coralina somera en cuatro localidades en el Caribe Sur de Costa Rica para proponer medidas que contribuyan con la conservación de éstos.

Materiales y métodos

El trabajo de campo se realizó entre el 2011 y 2012, se realizaron en total 6 muestreos; cuatro durante el primer año incluyendo periodo seco y lluvioso. Para la evaluación de la comunidad arrecifal se utilizó la metodología de AGRRA Versión 2.2 modificada, aplicada entre 1 y 6 m de profundidad, se realizaron transectos de 1 m x 10 m, para un total de 12 transectos (120 m²) en Isla Uvita, 12 (120 m²) en el PNC, 9 (90m²) en Puerto Viejo y 18 en el REGAMA (180 m²). Se empleó una unidad muestral rígida de 1 m² a lo largo del transecto, en el cual se evaluó el porcentaje de cobertura viva de corales, pastos marinos, macroalgas, el fondo desnudo en el que se agrupó rocas, lodos y arenas, así como el número de erizos. Las especies de corales, de macroalgas y de fanerógamas marinas se identificaron *in situ* hasta el taxón mínimo posible utilizando las claves de Greenberg (1986), de Kaplan (1988), de Cortes (1992), Humann (1994), Collin *et al.*,

(2005), Tropical reefs (2017) y Smithsonian National Museum of Natural History (2017). Cada taxa se evaluó en términos del estado de conservación según lista Roja de la UICN, CITES (CITES 2017) y el Reglamento N° 32633 de a la Ley de Conservación de la Vida Silvestre de Costa Rica N° 7317.

Análisis de datos

Para comprobar la normalidad de las distribuciones y la homocedasticidad de las varianzas, se realizaron las pruebas de Shapiro-Wilks, de Levene a los residuos de los promedios de la variable cobertura de coral y macroalgas para cada localidad y la prueba de X^2 para evaluar la independencia entre las variables. Se aplicó la prueba de Jackknife de primer orden para estimar el número de especies detectadas en cada localidad. Además, de una prueba de t para comparar los porcentajes de cobertura de las cuatro especies comunes de corales y macroalgas en cada localidad. La equidad y la dominancia se evaluaron mediante los índices de Pielou y Berger-Parker.

Cuando los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, se realizó transformación (\log_{10}). Se aplicó la prueba no paramétrica de Shapiro-Wilks (modificado) para comparar el estado para cobertura de corales y macroalgas entre sitios.

Para las coberturas de corales y macroalgas se evaluó la similitud empleando el índice de Bray-Curtis, que analiza datos cuantitativos para determinar el porcentaje de similitud entre distintas muestras, de acuerdo con su composición considerando el valor de importancia a cada una de las especies que componen la comunidad (Bray y Curtis 1957). Se realizó un análisis de componentes principales por sitios y por especies de corales y de macroalgas. El análisis de los datos se realizó empleando los programas Bio Diversity Professional, versión 2.0 (Mc Aleece *et al.*, 1997) y el InfoStat-P (Di Rienzo *et al.*, 2011).

Para analizar comparativamente las comunidades en las distintas localidades se aplicó el análisis de escalamiento multidimensional no métrico (EMDN) y es una técnica de ordenación que analiza las medidas o índices de disimilitud o disimilaridad o distancia entre comunidades o grupos biológicos (McCune y Grace 2002; Oksanen, 2007) con el índice de Ruzicka (Índice de Jaccard cuantitativo). Este análisis se aplica a las respuestas de especies no lineales que emplean información en rangos y agrupa no linealmente en el espacio de

ordenación, siendo una forma robusta y eficiente de analizar la información (Oksanen 2007).

Para evaluar el ajuste del EMDN a la distancia se empleó el valor de estrés (Stress) con base en la escala de Kruskal: 2,5 = Excelente, 5 = Bueno, 10 = Justo, 20 = Pobre. (McCune y Grace 2002; Oksanen, 2007). La influencia de las variables locales y espaciales sobre la composición de la comunidad coralina y la de macroalgas se ajustó sobre el diagrama de ordenación resultante del EMDN. Este análisis se realizó con el programa R versión 3.0.0 (Masked Marvel 24 Copyright©), específicamente con los paquetes Vegan y Biodiversity R (Oksanen, 2007; Oksanen, Kindt, Legendre y O'Hara, 2007).

Para comparar la composición de las comunidades de corales y de macroalgas entre sitios, se utilizó un análisis de similaridad (ANOSIM) (Clark, 1988), basado en 10000 permutaciones. El análisis determina si existen diferencias significativas (separación) entre la estructura de diferentes comunidades en espacio o tiempo. El análisis se basa en un estadístico "R", el cual determina si ocurre separación (R=1) o no (R=0). Valores de R mayores a 0,75 son comúnmente interpretados como buena separación de comunidades. Valores de R mayores a 0,5 se consideran comunidades separadas pero traslapadas; mientras que con valores menores a 0,25 se considera que las comunidades son apenas separables.

Se utilizó un análisis de porcentajes de similitud (SIMPER). Este análisis determina la contribución de cada especie, al valor de similitud (o disimilitud) observado entre muestras o el total. Permite identificar cuales especies son principalmente responsables de las diferencias observadas en grupos de muestras (Quinn y Keough 2002).

Resultados

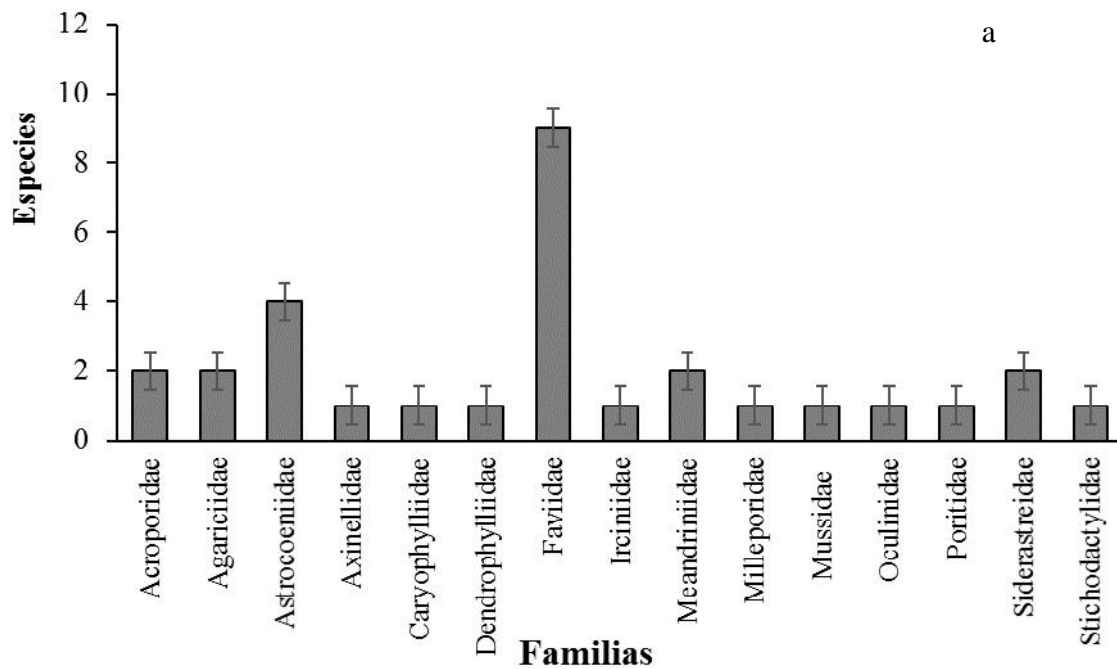
Riqueza de especies

La mayor riqueza de corales, macroalgas y fanerógamas marinas se registró en Isla Uvita, PNC y en el REGAMA respectivamente, mientras que en Puerto Viejo se observó la menor cantidad de estos (Cuadro 2) (Anexo 1).

Cuadro 2. Riqueza de especies de corales, macroalgas y fanerógramas marinas registradas en cuatro localidades del Caribe Sur de Costa Rica.

Sitio estudio	Corales	Macroalgas	Fanerógramas marinas
Isla Uvita	27	12	1
Parque Nacional Cahuita	23	11	2
Puerto Viejo	7	9	2
REGAMA	26	12	2

Además, se destaca que en total se registraron 30 especies de corales pertenecientes a 15 familias, siendo la familia Faviidae la más representada, mientras que en el caso de las macroalgas se observaron 20 especies pertenecientes a 9 familias (Fig. 2) y dos especies de fanerógamas marinas.



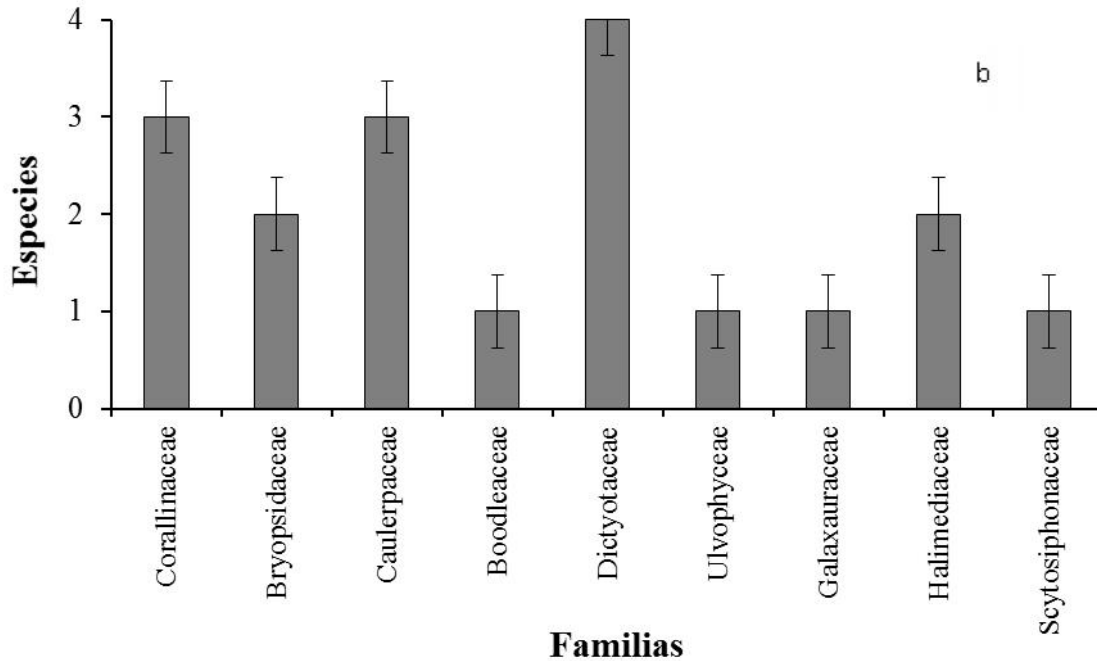


Figura 2. Familias de corales (a) y algas (b) representadas en el Caribe Sur, Limón, Costa Rica.

Las barras de error indicadas en la figura corresponden a la desviación estándar de la muestra.

Las especies de coral con mayor cobertura en Isla Uvita fueron *Acropora palmata* (29%) y *Diploria strigosa* (20%), en el PNC, *Millepora complanata* (24 %) y *D. strigosa* (13 %), en Puerto Viejo, fueron *M. complanata* (20%) y *D. strigosa* (12%) y en el REGAMA fueron *D. strigosa* (21,51%) y *Siderastrea siderea* (20,97%).

Por otro lado, las especies con menor cobertura fueron *Dichocoenia* sp. (0.03%) en Isla Uvita, *Palythoa caribaeorum* y *Dendrogyra cylindrus* (0,04%) en el PNC, *Porites* sp. (0,18%) en Puerto Viejo y *Manicina areolata* (0.07%) en REGAMA. Además, se encontraron diferencias significativas entre los promedios de los porcentajes de cobertura de las cuatro especies de corales abundantes en Cahuita y Puerto Viejo ($t_{(7)}= 2,61$, $p = 0,05$ y $t_{(7)}= 2,58$, $p = 0,05$ respectivamente).

En el caso de las macroalgas, las especies que mostraron mayor cobertura en Isla Uvita fueron *Halimeda opuntia* (42,58%), en el PNC fueron *Hydroclatros clathrotus* (38,63 %) y *Halimeda* sp. (16,34 %), mientras que, en Puerto Viejo, fueron *H. opuntia* (36,77%) y

Dyctiota sp (23,81%) y en el REGAMA fueron *Amphiora tribulus* (48,91%) y *Caulerpa sp* (26,07%). Las especies con menor cobertura fueron *Bryopsis pennata* y *B. plumosa* (0,33%) en Isla Uvita, *B. plumosa* y *Caulerpa racemosa* (0,04%) en PNC, *Padina pavonica* (0,08%) en Puerto Viejo y *B. plumosa* (0,1%) en REGAMA. Para los porcentajes de coberturas de las cuatro especies de pastos en las cuatro localidades no se observaron diferencias significativas ($T^2 = 1,14$, $p = 0,39$).

En cuanto al estado de conservación, para las especies de corales registradas, 13 se incluyen en el apéndice II de CITES y en el Libro Rojo de la UICN, 11 están incluidas en la categoría de preocupación menor, cuatro están en condición vulnerable, una en peligro y una en la condición de peligro crítico. En el caso de las macroalgas ninguna aparece incluida en CITES, ni en el Libro Rojo de la UICN. Para las fanerógamas marinas, *Thalassia testudinum*, se encuentra en preocupación menor y *Sargassum sp*, no ha sido evaluada por la UICN y ni por CITES (UICN, 2010) (Fig. 3; Anexo 2).

El porcentaje de especies de corales por localidad fue mayor en Isla Uvita y PNC, por el contrario, en Puerto Viejo y REGAMA fue menor. En estos dos últimos sitios, las especies no son igualmente abundantes según el valor para el índice de Pielou y coincide con el índice Berger-Parker que muestra dominancia alta de algunas especies (Cuadro 3).

Cuadro 3. Porcentajes de cobertura e índices para los corales y macroalgas de cuatro localidades del Caribe Sur de Costa Rica.

Sitio estudio	Cobertura Corales (%)	Índice de equidad Pielou	Índice Berger - Parker	Cobertura Macroalgas (%)	Índice de equidad Pielou	Índice Berger-Parker
Isla Uvita	75	0,6898	0,288	23,41	0,5706	0,4258
PNC	71	0,7	0,262	25,23	0,703	0,295
PV	65	0,7478	0,2274	28,97	0,7223	0,3677
REGAMA	65	0,7971	0,2098	27,3	0,5702	0,429

Por otro lado, el mayor porcentaje de macroalgas se registró en Puerto Viejo, donde las especies no son igualmente abundantes según lo evidencia el índice de Pielou, y existen algunas especies que son dominantes, lo cual es respaldado por el índice de Berger-Parker. Para PNC e isla Uvita se obtuvieron los porcentajes menores de macroalgas, siendo en el PNC el lugar donde se presenta mayor dominancia según el índice de Berger-Parker y respaldado por el índice de Pielou (cuadro 3).

De igual forma, la cobertura de coral varió entre 68% y 28% para Isla Uvita y Puerto Viejo, respectivamente. En el caso de las áreas protegidas, PNC y REGAMA, presentaron valores de cobertura similares entre sí (Fig. 3).

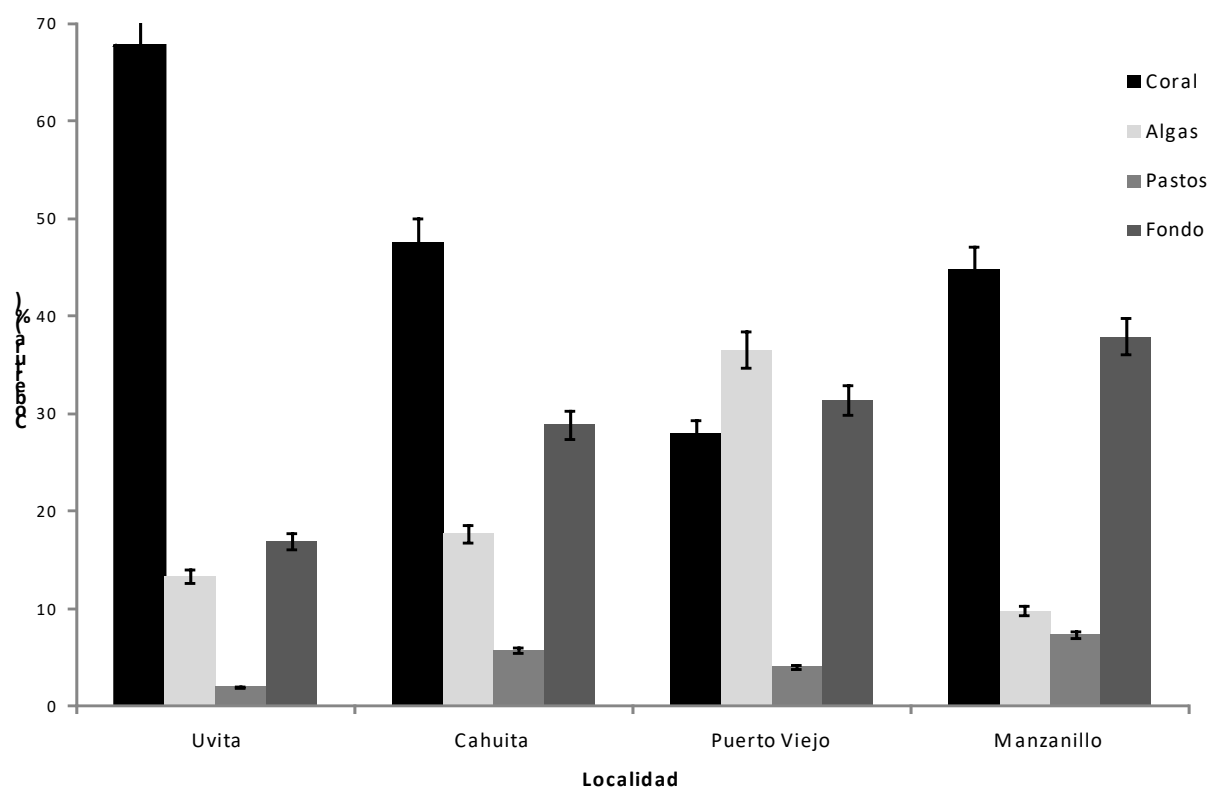


Figura 3. Porcentaje de cobertura del fondo marino por localidad en los arrecifes coralinos estudiados en el Caribe Sur, Limón, Costa Rica.

Las barras de error indicadas en la figura corresponden a la desviación estándar de la muestra.

En el caso de las macroalgas, Puerto Viejo y el REGAMA fueron los lugares con mayor y menor cobertura, 37% y 10%, respectivamente. En cuanto a los pastos marinos, REGAMA y la Isla Uvita presentaron la cobertura alta y baja (7% y 2%) respectivamente. En cuanto a la composición del fondo, estos dos mismos lugares REGAMA e Isla Uvita, presentaron la mayor y menor cobertura (38% y 17%) respectivamente (Fig. 4).

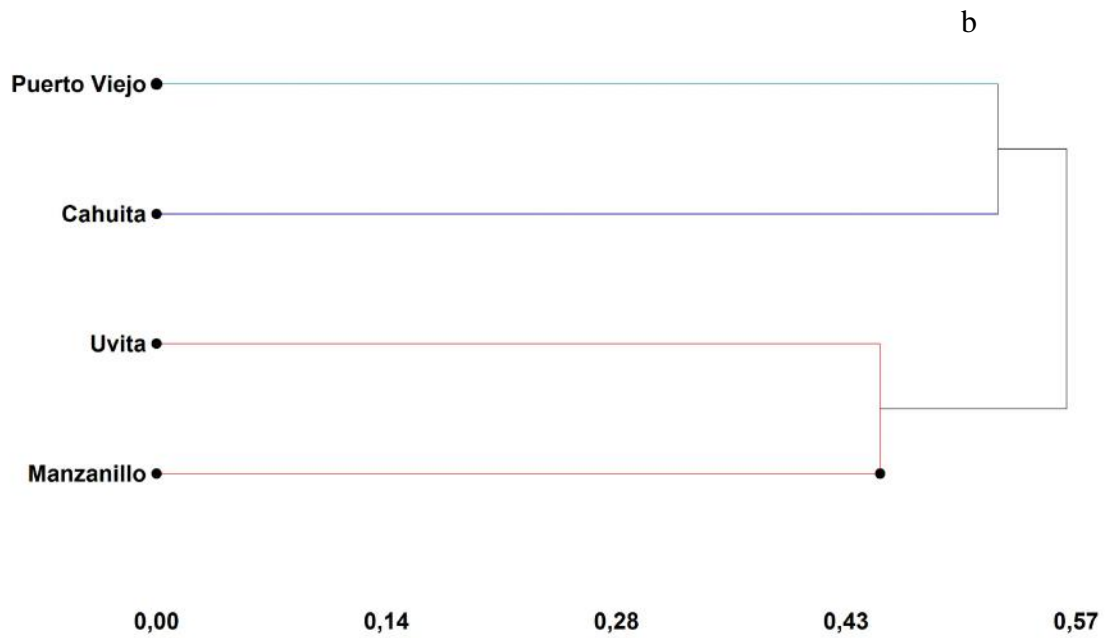
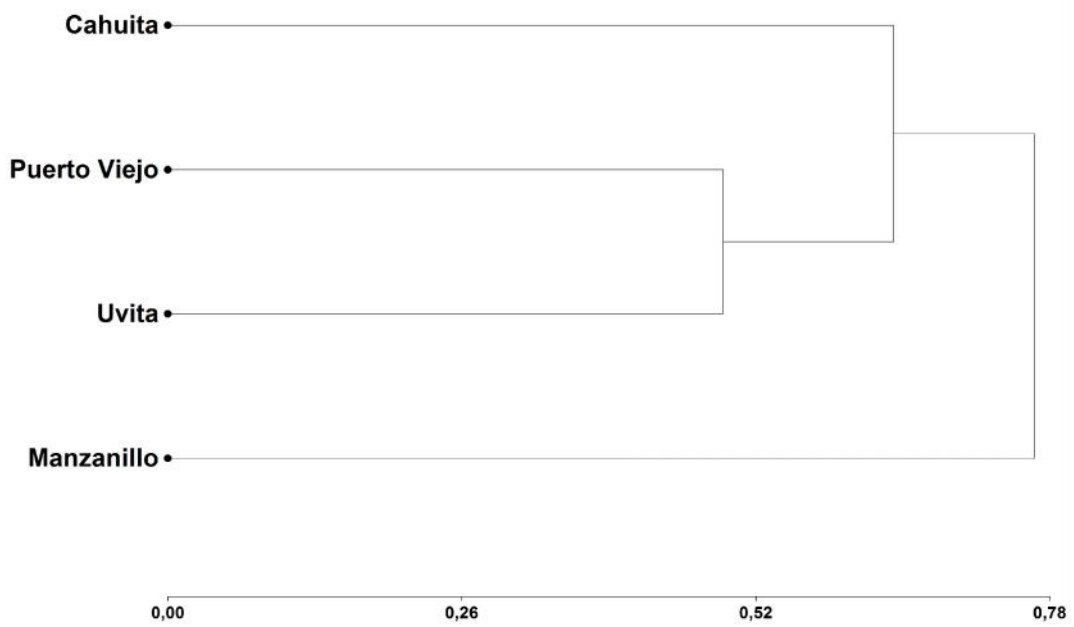


Figura 4. Diagrama de similitud, empleando la distancia Bray-Curtis, para la composición de especies de corales (a) y de algas (b) de las cuatro localidades estudiadas en el Caribe Sur, Limón, Costa Rica.

Se evidenció que los sitios de estudio se asocian en tres grupos según la cobertura, por un lado, se encuentra Isla Uvita y Puerto Viejo, la segunda agrupación corresponde a REGAMA y finalmente, el PNC (Fig. 5a). Este último fue el que compartió menor número de especies con las otras localidades en tanto que las dos primeras, son las que comparten el mayor número de especies. No se observó relación en la distribución longitudinal.

Dicho análisis para la cobertura de algas mostró que las localidades se asocian en 3 grupos. Por un lado, se encuentra el Puerto Viejo y PNC, el segundo grupo corresponde a Isla Uvita y Puerto Viejo y el último, al REGAMA (Fig. 5b). El primer grupo es el que comparte el menor número de especies con las otras localidades en tanto que la segunda y la tercera comparten el mayor número de especies. No se observa relación en la distribución longitudinal.

El análisis de componentes principales para cobertura de corales por las localidades agrupó a Isla Uvita y REGAMA, mientras que los demás sitios de estudio quedaron separados, el eje CP1 explicó el 61% de la varianza y el CP2 un 16 % (Fig. 5a).

Esta misma condición se muestra en el análisis de componentes principales para la cobertura de macroalgas. Donde se agrupan las localidades de Isla Uvita y Puerto Viejo y las otras quedan separadas, explicando el eje CP1 el 45% de la varianza, y el CP2 un 27 %, (Fig. 5b). Al comparar las coberturas entre sitios no se observaron diferencias significativas ni entre grupos y dentro de grupos (Bray-Curtis, $p < 0,05$).

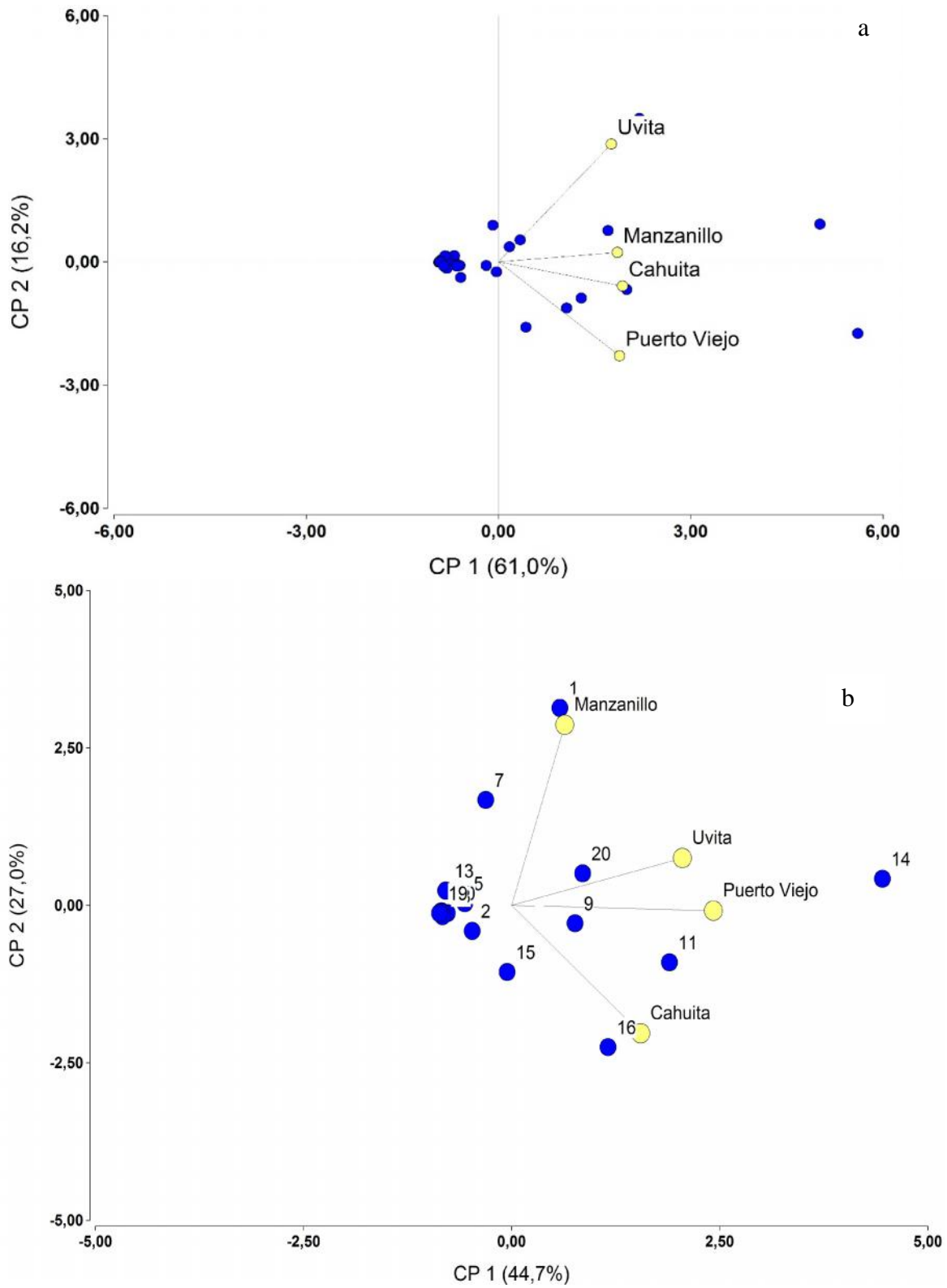


Figura 5. Diagrama del análisis de componentes principales por localidad de especies de corales (a) y macroalgas (b) en el Caribe Sur, Limón, Costa Rica.

En cuanto a los erizos, la mayor abundancia en los sitios de estudio correspondió a *Diadema antillarum*, las densidades altas observadas fueron en REGAMA, mientras que el PNC presentó la menor densidad. El erizo *Echinometra viridis* se observó en sólo 3 de las localidades evaluadas, con densidades menores que las presentadas por *D. antillarum*. Esta especie fue abundante en REGAMA y menos densa en PNC, mientras que en Puerto Viejo, la densidad fue similar a la del PNC, caso contrario a lo que ocurre en la Isla Uvita y REGAMA (Fig. 6).

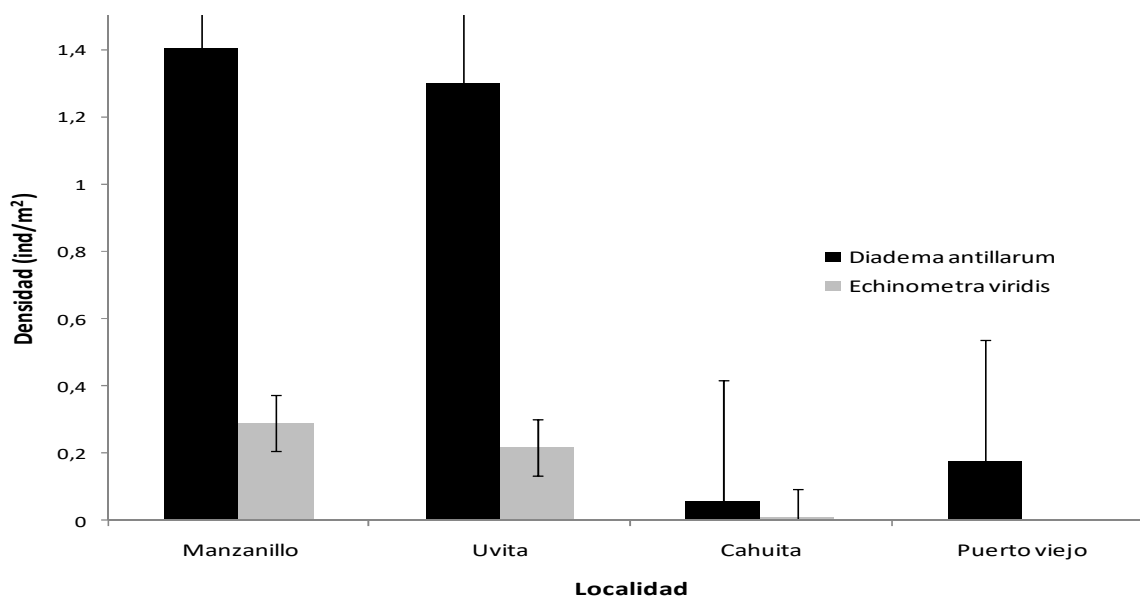


Figura 6. Densidad de erizos observados en cuatro sistemas arrecifales del Caribe Sur, Limón, Costa Rica.

Las barras de error indicadas en la figura corresponden a la desviación estándar de la muestra.

Según el análisis de similitud (ANOSIM) existe diferencia entre la estructura de las comunidades de coral entre los sitios muestreados, sin embargo, son comunidades traslapadas (existe superposición de especies entre las comunidades) que comparten un núcleo de especies de 19,49 % (cada sitio tiene una parte “exclusiva” que no se parece al resto) (ANOSIM: $R= 0,1855$; $p<0,05$) (Fig. 7 y Cuadro 4). El análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) aplicado a todos los grupos (multi-grupo) demuestra que existe una

disimilitud general entre sitios de un 80,51%, es decir, se observan diferencias significativas en el número de especies entre los sitios de muestreo. Los análisis pareados (pairwise) mostraron diferencias entre las localidades analizadas mostrando heterogeneidad espacial que refleja contrastes ambientales (Cuadro 4). El aporte en disimilitud de sitios de cada especie individual se presenta en los resultados en los cuadros 4, 5, 6, 7 y 8.

Cuadro 4. Separación de comunidades según ANOSIM (valores de p), basado en 10000 permutaciones. Significancia al 95%.

	Uvita	Cahuita	Puerto Viejo	Manzanillo
Uvita	-	0,0344	0,0379	0,0194
Cahuita	0,0344	-	0,0667	0,0003
Puerto Viejo	0,0379	0,0667	-	0,0131
Manzanillo	0,0194	0,0003	0,0131	-

Cuadro 5. Porcentaje de disimilitud de especies de coral entre 4 sitios del Caribe Sur de Costa Rica.

	Uvita	Cahuita	Puerto Viejo	Manzanillo
Uvita	-	86,36	80,86	77,08
Cahuita	86,36	-	81,04	82,89
Puerto Viejo	80,86	81,04	-	79,67
Manzanillo	77,08	82,89	79,67	-

Cuadro 6. Disimilitud específica por taxón entre Isla Uvita-Cahuita, Caribe Sur, Costa Rica.

Especie	Contribución	Frecuencia acumulada %
<i>Acropora palmata</i>	13,67	16,59
<i>Diploria strigosa</i>	11,48	30,53
<i>Millepora complanata</i>	10,03	42,72
<i>Stephanocoenia intercepta</i>	9,121	53,78
<i>Madracis decactis</i>	4,879	59,71
<i>Diploria clivosa</i>	4,644	65,34
<i>Siderastraea sidérea</i>	3,416	69,49

<i>Madracis Formosa</i>	3,294	73,49
<i>Acropora sp</i>	3,243	77,43
<i>Solenastrea bournoni</i>	2,952	81,01

Cuadro 7. Disimilitud específica por taxón entre Cahuita-Puerto Viejo, Caribe Sur, Costa Rica.

Especie	Contribución	Frecuencia acumulada %
<i>Millepora_complanata</i>	10,9	13,45
<i>Montastrea_cavernosa</i>	10,11	25,92
<i>Diploria_clivosa</i>	9,663	37,84
<i>Stephanocoenia_intercepta</i>	9,208	49,21
<i>Diploria_strigosa</i>	8,866	60,15
<i>Diploria_sp</i>	6,58	68,27
<i>Madracis_decactis</i>	4,872	74,28
<i>Madracis_formosa</i>	3,29	78,34
<i>Acropora_palmata</i>	3	82,04

Cuadro 8. Disimilitud específica por taxón entre Puerto Viejo- Manzanillo, Caribe Sur, Costa Rica.

Especie	Contribución	Frecuencia acumulada %
<i>Diploria_clivosa</i>	13,56	17,03
<i>Montastrea_cavernosa</i>	10,25	29,9
<i>Diploria_strigosa</i>	10,15	42,63
<i>Siderastraea_siderea</i>	8,889	53,79
<i>Millepora_complanata</i>	8,358	64,28
<i>Diploria_sp</i>	6,777	72,79
<i>Siderastraea_radians</i>	4,849	78,88
<i>Solenastrea_bournoni</i>	3,907	83,78

En el escalamiento multidimensional no métrico no se obtuvo disimilitud evidente entre las especies presentes en las 4 localidades analizadas. Sin embargo se separó a Manzanillo como un grupo disímil del resto de las localidades. En este caso, el ajuste del EMDN de dos dimensiones a la distancia de Bray-Curtis empleó el valor de estrés (Stress) con base en la escala de Kruskal y mostró un valor de stress de 21,24 que se considera Pobre, pero es un valor aceptable para modelar datos biológicos (Carvajal 2013) (Fig. 7).

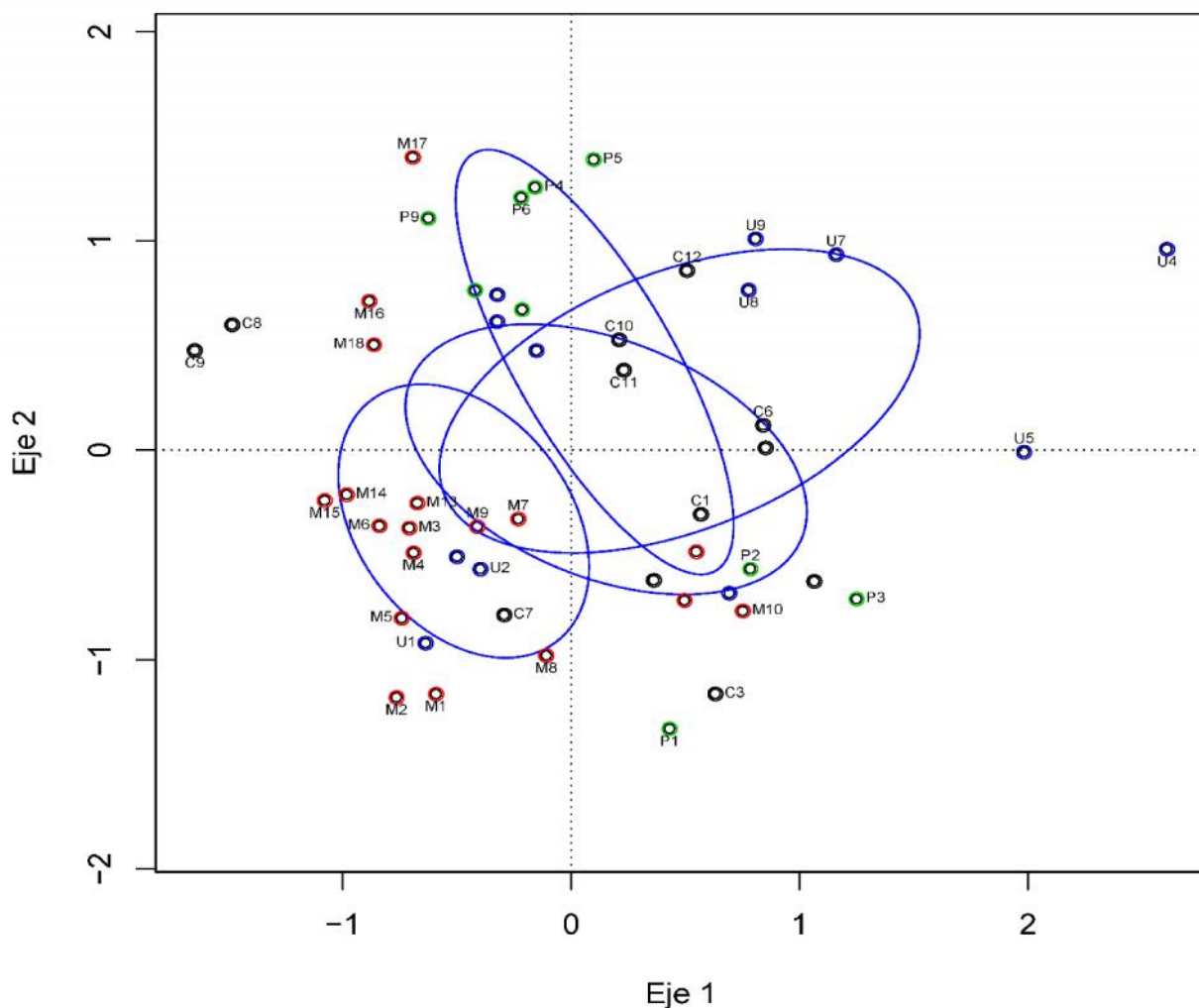


Figura 7. Diagrama del escalamiento multidimensional no-métrico (estrés=21,24 %) que muestra la distribución espacial de la comunidad coralina en Isla Uvita, PNC, Puerto Viejo y REGAMA, Limón. Las elipses representan límites de confianza al 95%.

Discusión

En general, la cobertura de coral en distintas localidades del Gran Caribe ha disminuido, aumentado o bien, se ha mantenido; siendo una preocupación para la sociedad y los científicos el estado de conservación de estos frágiles ecosistemas (Franke-Ante *et al.*, 2014).

En el caso analizado en este documento, para la comunidad coralina en los arrecifes evaluados, la cobertura se ha mantenido y es homogénea, lo que podría indicar que los factores responsables de mantener esta estructura actúan de forma subregional como lo sugiere Alcolado (2010). A pesar de ello, los patrones de distribución y abundancia de las especies pueden depender de la localidad y de factores como la sedimentación (Abdel-Salam, 1988), los aportes continentales de sedimentos producidos por las actividades como la agricultura y la urbanización.

Según los resultados del presente estudio, el porcentaje de coral vivo en REGAMA ha aumentado en relación con lo reportado por Cortés (1992) y es similar al que se observó para el PNC ese mismo estudio. Además, se evidenció un aumento de dicha condición según lo reportado por Fonseca *et al.* (2006). Esta recuperación de los corales es lenta y se ve favorecida por la cobertura relativamente baja de algas, y por la presencia de los erizos, que dejan espacios disponibles para la fijación de larvas de coral (Morse *et al.*, 1988).

Asimismo, el REGAMA se caracteriza por estar expuesto al oleaje, lo que favorece que los corales tengan una morfología baja e incrustante que reducen la disponibilidad de refugios como huecos y cuevas para las comunidades faunísticas asociadas, lo cual es coincidente con lo reportado por Cortés (1992).

En el caso de la Isla Uvita y PNC se encuentran sedimentos finos, que incluyen materiales de $< 0,1$ mm, lo cual permite que *A. palmata*, se asocie con facilidad a estos sustratos. En el caso de la Isla Uvita, el sitio de muestreo parece estar protegido por el patrón de corrientes que dificulta la re-suspensión de materia gruesa. Sin embargo, el área recibe material particulado fino del estero Moín y de río Cieneguita. Por su parte, PNC recibe un aporte de este tipo de materiales provenientes del río Estrella, lo cual sustenta la presencia de esta especie. Dicha situación es contraria a la baja densidad que se encontró en el REGAMA y de la ausencia de esta especie en Puerto Viejo, lo cual podría sugerir la re-

suspensión de sedimentos gruesos producto de la acción de los vientos o del ingreso de materia orgánica sin procesar al mar.

En el caso de *S. siderea* se ha reportado como resistente a la sedimentación (Torres y Morelock, 2002). Esta especie presentó dominancia en REGAMA, donde los sedimentos terrígenos producto del uso intensivo del suelo podrían estar contribuyendo al mantenimiento de esta cobertura. Igual situación se presenta con *M. cavernosa* en Puerto Viejo, donde el aporte de sedimentos puede estar asociado a la ausencia de tratamiento de las aguas negras y servidas aunadas al uso del suelo. En ninguna localidad se observó *A. cervicornis*, que había sido reportada como rara por Cortés (1992) y de la cual Aronson y Precht (2001) reportaron una reducción importante para el Caribe.

Asimismo, las coberturas de corales observadas en los sitios y la recuperación de éstas en el PNC, podría explicarse según lo propuesto por Alcolado (2010), dado el desarrollo asexual de clones genéticamente resistentes a los patógenos, el crecimiento de colonias y que las presiones no son tan intensas como en otras localidades del Caribe.

En ese sentido, las coberturas de coral vivo reportadas para este estudio indican que el arrecife mejor conservado es el de Isla Uvita, seguido de PNC, REGAMA y Puerto Viejo. Las tres primeras localidades muestran sistemas bien desarrollados y saludables comparados con lo reportado por Guzmán y Guevara (1998) para Panamá y Alcolado (2010) y Caballero *et al.*, (2009) para Cuba. En el caso de Puerto Viejo, la cobertura de coral es baja comparada con los otros sitios analizados, pero no llega a ser crítica como en áreas que se encuentran bajo la presión de ciclones y huracanes (Alcolado, 2010). La mayor presión parece ser el aporte de nutrientes desde el continente.

Por otro lado, las macroalgas aprovechan los espacios dejados por otros organismos del arrecife para colonizarlo, esta situación se favorece cuando hay aportes importantes de nutrientes que actúan como fertilizantes de éstas (Lapointe, 1999; Alcolado, 2010). En Puerto Viejo se observó la mayor cobertura de algas, lo cual podría estar relacionado con una baja población de erizos *D. antillarum* y ausencia de *E. viridis*. Para Cahuita, Fonseca (1999) reportó que los géneros *Dictyopteris*, *Sargassum* y *Halimeda* fueron los que aportaron mayor porcentaje de cobertura, sin embargo, en esta investigación no se observó *Sargassum*, siendo *Hydroclatros clathrotus*, la especie que aportó mayor cobertura. En

REGAMA, los géneros de macroalgas con mayor cobertura reportada fueron *Halimeda* y *Amphiora* los cuales coinciden con los reportados por Cortés (1992).

Respecto a la baja cobertura de corales en contraste con la alta de macroalgas en Puerto Viejo es una influencia que debe llamar la atención, debido a la ausencia del manejo de aguas residuales de esta comunidad, que es la segunda localidad grande del Caribe Sur, y desde la cual se podrían estar generando importantes cantidades de nutrientes que se incorporan al medio marino y que favorecen el crecimiento algal. Esto afecta los corales por la competencia por sustrato con los reclutas y influye directamente sobre los corales jóvenes como sugieren Richmond (1997) y Alcolado (2010). Es importante destacar el comportamiento registrado en Isla Uvita, donde se presenta la mayor cobertura de corales y una cobertura intermedia de algas, esta condición ocurre a pesar de que se ubica cerca de la salida del emisario submarino de la ciudad de Limón.

En relación con las dictiotáceas, presentaron coberturas altas en Puerto Viejo y PNC, las cuales son consideradas oportunistas y dominantes en localidades con aportes de nutrientes (Lapointe, 1997) al igual que sugiere McClanahan (2004) sobre las algas verdes filamentosas y foliosas que no fueron evaluadas en este estudio. En el caso de PNC, la cobertura de algas sufrió un leve aumento respecto a lo observado por Fonseca *et al.*, (2006). En Panamá, esta cobertura estuvo cerca del 10% por debajo de lo reportado para PNC; reportando al género *Dyctiota* que aportó mayor cobertura en arrecifes coralinos someros (Guzmán y Guevara, 1998). Lo que coincide con el análisis de arrecifes coralinos someros que se realizó en este estudio, donde se reporta este género, pero alcanza una cobertura alta en Puerto Viejo, pero no es la que presenta mayor dominancia.

Por otro lado, la abundancia de erizos está relacionada con la complejidad del arrecife, dado que requiere de cuevas y refugios para protegerse de los predadores y cuyas fluctuaciones poblacionales podría estar asociadas con la enfermedad del desprendimiento de las espinas que la afectó a mediados de los años 80 (Collins *et al.*, 2005) y que se reportó en el 2010 en Cuba (Alcolado, 2010). Estos herbívoros son fundamentales en el control natural de las macroalgas en los arrecifes coralinos debido a que son reportados como consumidores de éstas (Collins *et al.*, 2005; Fonseca *et al.*, 2006).

Con referencia a la densidad de *D. antillarum* y *E. viridis* resultaron altas para REGAMA e Isla Uvita y bajas para los otros sitios, sin embargo, son mayores a lo

reportado por Fonseca *et al.*, (2006) para el Parque Nacional Cahuita. También indicaron que las poblaciones de ambos erizos han reducido sus densidades entre el 2000 y el 2004, tanto que *D. antillarum*, especie herbívora clave, alcanzó densidades de 4,3 ind/m² siendo considerada común (Cortés y Risk, 1985) posteriormente se reportó un leve aumento (Fonseca, 2003) y en este estudio se observó que la densidad se mantiene en Cahuita.

Para todos los sitios, la densidad es baja comparada con la reportada en Barbados, pero similares a los reportados en Jamaica (Fonseca 2003) y menor a la reportada por Alcolado (2010) para Ensenada de Czones, Cuba, quienes señalan que otras localidades cercanas a esas poblaciones fueron bajas. Podría asociarse esta abundancia a la posible reducción de la comunidad de peces herbívoros, sobre los cuales se puede tener una importante presión por pesca, dejando el nicho libre para los erizos (Hay, 1984; Alcolado, 2010).

En Panamá se reporta que *E. viridis* tenía una población abundante, sin embargo, en el estudio no se estimó la densidad, pero los autores de la investigación sugirieron que esta especie podría estar ocupando los espacios que dejó *D. antillarum* posterior al descenso poblacional (Guzmán y Guevara, 1998). Sin embargo, en REGAMA y en Isla Uvita se presentaron densidades altas de erizos de las dos especies lo que coincide con la menor cobertura de algas coincidiendo con la distribución de las comunidades de depredadores-presa. Por lo que la presencia de los erizos contribuye a regular la cobertura de macroalgas en los sistemas arrecifales (Fonseca, 1999; Caballero *et al.*, 2009).

Según Alcolado (2010), este control algal favorece el reclutamiento de corales y la recuperación de los mismos. La cobertura de algas en dichos sitios es baja probablemente por la acción que producen las poblaciones de erizos, los cuales son reguladores del crecimiento y de estas poblaciones (Fonseca, 2003).

Otros factores no evaluados en este estudio pueden estar incidiendo lentamente en el estado de conservación de estos sistemas, tales como la acidificación del mar que parece reducir el número de espermatozoides liberados por los corales y compromete el reclutamiento de larvas tal como lo sugiere Albright *et al.*, (2010) y cuya influencia puede empezar a percibirse lentamente o bien, puede ser mitigado por la capacidad de resiliencia del sistema cuyos mecanismos de macroevolución podría ofrecer respuestas que no esperamos ante la variabilidad climática (Barbeitos *et al.*, 2010).

Además, el aumento del nivel del mar (global de 0,28 mm por año) (Alexander *et al.*, 2013) puede ser un factor de estrés adicional, debido a que genera un incremento de la erosión costera y podría propiciar cambios en las comunidades de especies a partir de las variaciones en las profundidades, sin embargo, dichos cambios podrían ser lentos. La temperatura se ha considerado un factor fundamental para la conservación de los arrecifes coralinos. Fonseca *et al.*, (2006) considera que, aunque la temperatura ha aumentado, estas comunidades se han mantenido por debajo de los límites de tolerancia, pero tal vez, cerca del límite. Esta condición introduce una presión adicional a estos ecosistemas provocando una lenta extinción de las especies empezando por las sensibles a los cambios y adaptación a las nuevas condiciones mediante la resiliencia del sistema.

Mientras, se comprende cómo responden los arrecifes coralinos a estos acelerados cambios, es necesario mantener programas de observación y evaluación del estado del ecosistema en el área de estudio dada la conectividad de estos, la cual fue propuesta por Cortes (1992).

Asimismo, se requiere elaborar una propuesta de inclusión de la Isla Uvita como un área marina protegida en el Área de Conservación La Amistad Caribe (ACLAC) y su promoción dada la calidad de los ecosistemas asociados. Debe considerarse la planificación y ejecución de las obras ampliación del puerto de la ciudad de Limón y la terminal de contenedores, obras que podrían afectar la dinámica de circulación marina costera teniendo un impacto negativo en los ecosistemas marinos de la isla para esta propuesta.

Actualmente, se está elaborando el plan de manejo del PNC y la aprobación de éste en el REGAMA, que es necesario para la adecuada administración de estos recursos. Pero Puerto Viejo e Isla Uvita no mantienen esta situación. El trabajo conjunto de las autoridades del ACLAC y del Instituto Costarricense de la Pesca y la Acuicultura (INCOPECA) con pescadores locales para divulgar e implementar los reglamentos de pesca responsable de la FAO y con el Instituto Costarricense de Turismo (ICT) para la implementación de los protocolos para la observación turística responsable de los arrecifes coralinos es una urgencia para minimizar las algunas presiones sobre estos ecosistemas.

De la misma manera, los planes reguladores marino costeros pueden constituirse en una herramienta que contribuya con los procesos de conservación de los arrecifes coralinos. La elaboración y aprobación de estos planes es conducente a la reducción de los sedimentos

que llegan a la costa, a la reducción en las construcciones en la zona marítimo terrestre, a la descarga de contaminantes, entre otros. La implementación de medidas para el tratamiento de aguas negras y servidas debe ser una prioridad para las autoridades y para las organizaciones no gubernamentales que trabajan en la zona.

Sin duda, las medidas propuestas corresponden a estrategias que tienen a reducir las presiones sobre las especies para que tengan flexibilidad para enfrentar la variabilidad climática (Robinson *et al.*, 2005; Fischlin *et al.*, 2007) y que parece ser una práctica recomendada para zonas marinas y costeras dada las dificultades de manejo directo en estas áreas (Mawdsley *et al.*, 2009).

Como conclusión, las comunidades coralinas de los arrecifes analizados en el Caribe Sur de Costa Rica han cambiado en la última década hacia un estado de menor deterioro. Este cambio se evidencia, principalmente, en la composición de especies y en el aumento de cobertura coralina que se ha observado en todos los arrecifes y que fueron de regular, en el caso de Puerto Viejo, a bueno en la Isla Uvita. Los datos obtenidos en este estudio confirman la dirección y la magnitud de cambio, ya que las presiones antrópicas existentes no son tan fuertes que pongan en riesgo estos sistemas. Sin embargo, aquellas fuentes de perturbación deben mitigarse, cuando sea posible, a través de planes de manejo a corto, mediano y largo plazo; participación ciudadana, aumento de áreas silvestres protegidas, educación ambiental, trabajo con pescadores y tours operadores para que los arrecifes coralinos mantengan su resiliencia y puedan mejorar su estado y mantenerse en el tiempo.

Referencias bibliográficas

- Albright, R., Mason, B., Miller, M., and Langdon, C. (2010). Ocean acidification compromises recruitment success of the threatened Caribbean coral *Acropora palmata*. PNAS. Early Edition. 1-5.
- Alcolado, P. (2010). El cambio climático y los arrecifes coralinos del Gran Caribe y Cuba. p 38-48. En: Hernández-Zanuy, A., & Alcolado, P.M. (eds). La biodiversidad en ecosistemas marinos y costeros del litoral de Iberoamérica y el cambio climático: I. Memorias del Primer Taller de la RED CYTED BIODIVMAR. La Habana, Cuba.

- Alexander, L., Allen, S., Bindoff, N. L., Bréon, F. M., Church, J., Cubasch, U., Emori, S., Forster, P., Friedlingstein, P., Gillett, N., Gregory, J., Hartmann, Jansen, D., Kirtman, B., Knutti, R., Kanikicharla, K. K., Lemke, P., Marotzke, J., Masson-Delmotte, V., Meehl, G., Mokhov, I., Piao, S., Plattner, G., Dahe, Q., Ramaswamy, V., Randall, D., Rhein, M., Rojas, M., Sabine C., Shindell, D., Stocker, T., Talley, L., Vaughan, D., and Xie, S. P. (2013). Twelfth Session of Working Group I Approved Summary for Policymakers. IPCC WGI AR5 SPM-1. Recuperado de <http://ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.UkYBqtIz08y>.
- Anadón, R., Duarte, M., y Fariña, C. (2005). Impactos sobre los ecosistemas marinos y el sector pesquero. Pág 147-182. En: Proyecto ECCE. 2005. Principales Conclusiones de la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Oficina Española de Cambio climático-UCLM-Ministerio de Medio Ambiente.
- Barbeitos, M., Romano, S., and Lasker, H. (2010). Repeat loss of coloniality and symbiosis in scleractinian corals. *PNAS*, 107 (26), 11877-11882.
- Beltrán, J., A. Villasol, A.V. Botello y F. Palacios. 2005. Condición Actual del ambiente marino-costero de la región del Gran Caribe. En: Botello A. V., J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernandez (eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y tendencias. Segunda edición. Universidad Autónoma de Campeche, UNAM e Instituto Nacional de Ecología. Pp. 1-24.
- Bray, J.R. & J.T. Curtis. 1957. An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27: 325-349
- Burke, L. M., Maidens, J., Spalding, M., Kramer, P., & Green, E. (2004). Reefs at Risk in the Caribbean (p. 80). Washington, DC: World Resources Institute.
- Caballero, H., Alcolado, M. P., y Semidey, A. (2009). Condición de los arrecifes de coral frente a costas con asentamientos humanos y aportes terrígenos: el caso del litoral Habanero, Cuba. *Rev. Mar. y Cost*, 1, 49-72.
- CITES (2017). Checklist of CITES Species. Recuperado de <http://www.cites.org/eng/resources/species>.
- Clarke, K.R. (1993). Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18 (1), 117-143.
- Clarke, K.R. and Warwick, R.M. (2001). Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd edition. PRIMER-E: Plymouth.
- Collins, R., Díaz, M. C., Norenburg, J., Rocha, R. M., Sánchez, J. A., Schulze, A., Schwartz, M., and Valdés, A. (2005). Photographic Identification Guide to Some Common Marine Invertebrates of Bocas Del Toro, Panama. *Caribbean Journal of Science*, 41 (3), 638-707.
- Conservation International. (2008). Economic values of coral reefs, mangroves, and seagrasses: A global compilation. Center for Applied Biodiversity Science, Conservation International, Arlington, VA, USA, 35.

- Cortés, J., y Guzmán, H.M. (1985). Arrecifes coralinos de la costa Atlántica de Costa Rica. *Brenesia*, 23, 275-292.
- Cortés, J., and Risk, M. J. (1985). A reef under siltation stress: Cahuita, Costa Rica. *Bull. Mar. Sci*, 36, 39-356.
- Cortés, J. (1992). Organismos de los arrecifes coralinos de Costa Rica: V. Descripción y distribución geográfica de hidrocorales (Cnidaria; Hydrozoa: Milleporina y Stylasterina) de la costa Caribe. *Brenesia*, 38, 45 – 50.
- Cortés, J. (1997). Status of the Caribbean coral reefs of Central America. *Proc. 8th Int. Coral Reef Symp. Panamá 1*, 335-340.
- Cortés, J., and Jiménez, C. (2003). Past, present and future of the coral reefs of the Caribbean of Costa Rica. 223-239. En Cortés, J. (ed.). *Latin American Coral Reefs*. Elsevier Science, Amsterdam.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., and Robledo, C. (2011). InfoStat-P versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de <http://www.infostat.com.ar>
- Fischlin, A., Midgley, G. F., Price, J. T., Leemans, R., Gopal, B., Turley, C., Rounsevell, M.D., Dube, O. P., Tarazona, J. and Velichko, A. A. (2007). Ecosystems, their properties, goods, and services. 211-272. En: Parry, M. L., Canziani, O.F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J., & Hanson, C. E (eds.). *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability, contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernment Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Fonseca, A. C. (1999). A rapid assessment at Cahuita National park, Costa Rica, 1999 (Part 1: stony coral and algae), 248-257. En : Lang, J.C. (ed). *Status of Coral Reefs in the western Atlantic: Results of initial surveys, Atlantic and Gulf Rapid reef assessment (AGRRA)*. Program. Atoll. Research Bulletin 496.
- Fonseca, A. C. (2003). A rapid assessment at Cahuita National Park, Costa Rica. 1999. (part I: stony corals and algae), 249-257. En: Lang, J.C. (ed). *Status of Coral Reef in the Western Atlantic: result of initial surveys, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) Program*. Atoll Res. Bull. 496.
- Fonseca, A. C., Salas, E., y Cortés, J. (2006). Monitoreo del arrecife coralino Meager Shoal, Parque Nacional Cahuita, Costa Rica (sitio CARICOMP). *Rev. Biol. Trop*, 54(3), 755-763. (Int.J.Biol. ISSN-0034-7744)
- Franke-Ante, R., Zarza, E., Cano-Correa, M., Wong-Lubo, J. A., y Hernández, E. (2015). Aportes a la consolidación de un proceso regional para la conservación de arrecifes coralinos: ensayos para la estandarización de metodologías para el repoblamiento de especies amenazadas del género *Acropora* en tres Parques. *Biota Colombiana*, 2,114-131.
- Greenberg, I. (1986). *Guide to corals and fishes of Florida, the Bahamas and the Caribbean*. Haff-Daugherty Graphics, Inc (Ed.). USA.

- Hay, M. E. (1984). Patterns of fish and urchin grazing on Caribbean coral reefs: Are previous results typical?. *Ecology*, 65, 446-454.
- Humann, P. (1994). *Coral reef identification*. New World Publications, Inc. Florida. 240 pp.
- Jackson, J.B.C., Donovan, M., Cramer, K., and Lam, V. (Eds.) (2014). *Status and trends of Caribbean coral reefs 1970–2012*. Global Coral Reef Monitoring Network, International Union for the Conservation of Nature Global Marine and Polar Program, Washington, DC
- Jackson J.B.C. (2001). Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*. 293, 629–638.
- Kaplan, E. (1988). *Southeastern and Caribbean Seashores*. Peterson Field Guides (Ed.) Library of Congress. USA.
- Lapointe, B. E. (1999). Simultaneous top-down and bottom-up forces control macroalgal blooms on coral reefs. *Limnol. Oceanogr*, 44 (6),1586-1592.
- Mawdsley, J. R., O'Malley, R., and Ojima, D. S. (2009). A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation. *Conservation biology*, 23 (5), 1080-1089.
- McCune, B., and J. B. Grace. (2002). *Analysis of Ecological Communities*. MJM, Glenden Beach. Oregon, 125 – 143.
- Morse, D. E., Hooker, N., Morse, A. N., and Jensen, R. A. (1988). Control of larval metamorphosis and recruitment in sympatric agariciid corals. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol*, 116, 193-217.
- Oksanen, J. (2007). Multivariate analyses of ecological communities in R: vegan tutorial. 39. Recuperado de <http://cc.oulu.fi/~jarioksa/opetus/metodi/vegantutor.pdf>.
- Oksanen, J., Kindt, R., Legendre, P., and O'Hara, R. (2007). *Vegan: Community Ecology Package*. Versión 1.8-6. Recuperado de <http://cran.r-project.org/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2010). *Servicios de los ecosistemas y bienestar humano*. Bilbao, España: UNESCO Etxea.
- Proyecto ECCE. (2005). *Principales Conclusiones de la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Oficina Española de Cambio climático-UCLM-Ministerio de Medio Ambiente.
- Quinn, G., and Keough, M. (2002). *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambridge University Press. ISBN: 9780521009768. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511806384>.
- Richmond, R. H. (1997). Reproductions and recruitment in corals. Pp 175- 196. In:C. Birkeland (ed). *Life and death of coral reefs*. New York, USA. Chapman and Hall.
- Robinson, R. A., Learmonth, J. A., Hutson, A. M., Macleod, C. D., Sparks T. H, Leech D. I., Pierce G. J., Rehfisch M. M., and Crick H. Q. (2005). *Climate change and migratory species*. Department for Environment, Food, and Rural Affairs. London.

- Recuperado de <http://www.defra.gov.uk/wildlife-countryside/resprog/findings/climatechange-migratory/climatechange-migratory.pdf>
- Smithsonian National Museum of Natural History (2017). Corals and Coral Reefs. Recuperado de <http://ocean.si.edu/corals-and-coral-reefs>
- Spalding, M.D. (2004). A guide to the coral reefs of the Caribbean. University of California, Press, Berkeley, USA.
- Torres, J., and Morelock, J. (2002). Effect of terrigenous sediment influx on coral cover and rates of three Caribbean Massive Coral Species. *J. Caribbean Sci*, 1(38), 222-229.
- Tropical reefs. (2017). Florent's Guide To The Tropical Reefs. Recuperado de http://reefguide.org/cat_sci.html.
- IUCN. (2010). The IUCN Red List of Threatened Species. Recuperado de <http://www.iucnredlist.org/search>
- Wilkinson, C., and Souter, D. (2008). Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005. Townsville: Global Coral Reef and Rainforest Research Center.

Capítulo II

Variabilidad espacio temporal de las condiciones biofísicas del mar y sus implicaciones en dos áreas protegidas del Caribe Sur de Costa Rica

Resumen

La distribución espacio temporal de condiciones físicas y biológicas en el mar determinan las comunidades biológicas y su riqueza. Estos parámetros pueden cambiar de forma importante debido a la influencia de la variabilidad climática sobre el mar. Este trabajo tuvo como objetivo determinar la variabilidad espacio-temporal de las condiciones biofísicas del mar y sus implicaciones en dos áreas protegidas del Caribe Sur de Costa Rica. Se descargaron y procesaron los datos satelitales de los siguientes parámetros: precipitación mensual (PM), temperatura superficial del mar (TSM), clorofila a (Chl a), materia orgánica disuelta (MOD) y coeficiente de atenuación difusa a 490 nm (K490-CAD), para el 2001 o 2003 y el 2013 según la disponibilidad de los datos. Se estimó la diferencia entre meses y entre años para cada variable y se elaboraron mapas temáticos. Se realizó una sobreposición de las cinco variables y se estableció bajo una categorización los sitios con mayor influencia de las variables. Los cambios en los patrones de los factores físicos y químicos en el área de estudio se encuentran interrelacionados entre sí y probablemente mantienen influencia sinérgicas. Las variables analizadas para el Caribe Sur presentaron variaciones temporales y espaciales en las concentraciones de la PM, TSM, Chl a, K490-CAD y MOD en el mar, probablemente asociadas con la dinámica física que se presenta cerca del continente y que está relacionada con las características morfológicas y el tipo de marea ocurrente. El incremento de la TSM podría impactar los arrecifes coralinos, los pastos marinos y hasta los manglares con afectaciones sobre las áreas marinas protegidas. Las comunidades humanas pueden ser impactadas con cambios en la distribución de los peces comerciales, reducción de la calidad de los arrecifes y cambios en las corrientes marinas. La biodiversidad presente en el mar depende de las condiciones físicas químicas en las que se desarrollen siendo que los ciclos de vida, el metabolismo, los factores poblacionales, el estrés de los organismos, así como la variabilidad biológica dependen para su éxito de los factores que analizamos en esta investigación. Se concluye que con la variabilidad climática se extreman los valores de los parámetros biofísicos; en el periodo seco, las sequías son mayores y en periodo lluvioso las lluvias aumentan su intensidad, la temperatura incrementa con los años en el periodo seco, la penetración de la luz se reduce en el periodo lluvioso y productividad biológica aumenta en el periodo lluvioso y fue mayor en 2013.

Palabras clave: Caribe Sur, Costa Rica, temperatura superficial del mar, clorofila a, precipitación, atenuación difusa, materia orgánica disuelta

Space temporal variability temporal of biophysics sea condition and implications in two protected areas in South Caribbean , Costa Rica

Abstract

The temporal spatial distribution of physical and biological conditions in the ocean determines biological communities and their wealth. These parameters can change significantly due to the influence of climate change on the oceans. This work aimed to determine the spatial-temporal variability of the biophysical conditions of the sea and its implications in two protected areas of the Southern Caribbean of Costa Rica. Satellite data were downloaded and processed for the following parameters: monthly precipitation, sea surface temperature, chlorophyll a, dissolved organic matter and diffusion attenuation coefficient at 490 nm for 2001 or 2003 and 2013 according to the availability of the data. The difference between months and between years was estimated for each variable and thematic maps were elaborated. An overlap of the five variables was performed and it was established under a classification of the sites with the greatest effect of the variables. Changes in the patterns of physical and chemical factors in the study area are interrelated and probably maintain synergistic effects. The variables analyzed for the South Caribbean presented temporal and spatial variations in the concentrations of PM, SST, Chl a, K490-CAD and MOD in the ocean, probably associated with the physical dynamics that occur near the continent and that is related to Morphological characteristics and type of occurring tide. Increased SST can impact coral reefs, seagrasses and even mangroves with impacts on marine protected areas. Human communities may be impacted by changes in the distribution of commercial dogs, reduced reef quality, and changes in marine currents. The biodiversity that develops in the sea depends on the physical chemical conditions in which they are developed with the life cycles, the metabolism, the population factors, the stress of the organisms as well as the biological variability depend for the success of the factors that Analyzed in this research. It is concluded that with the climatic change the values of the biophysical parameters are extreme; In the dry period, the droughts are higher and in the rainy season rains are more intense, the temperature increases with the years in the dry period, light penetration is reduced in the rainy season and productivity increases biologically in the Rainy season and is higher in 2013.

Key words: South Caribbean, Costa Rica, temperature sea surface, chlorophyll a, precipitation, diffuse attenuation, organic matter dissolved

Introducción

Los mares se encuentran seriamente amenazados a nivel mundial por una serie de presiones que se ciernen sobre estos. Entre las que destacan la explotación descontrolada de los recursos, las modificaciones físicas de los biomas, la contaminación, el ingreso de especies exóticas, aunadas a las modificaciones que se generan como consecuencia de la variabilidad climática global (Breitburg y Riedel, 2005; Cortés y Werthmann, 2009).

Esta última presión ha sido ampliamente discutida a nivel mundial, y está asociada a la sinergia que ocurre entre los impactos de las actividades antrópicas. Estas acciones emiten los gases que provocan efecto invernadero en la atmósfera, los cuales aumentan el albedo de la superficie terrestre y modifican las temperaturas del planeta. Estos cambios impactan a los ecosistemas naturales a nivel global y local, pudiendo algunos ser resilientes en tantos que otros no (Dudley, 2003; Alcolado, *et al.*, 2013; Peter, Flower, Chollett, Box, Bozec, *et al.*, 2014;). Los ecosistemas marinos y costeros han mostrado ser sensibles a esta presión.

Definitivamente, por lo reciente de la discusión en relación a la variabilidad climática y sus impactos se ha generado controversia sobre sus consecuencias en el corto y mediano plazo, a pesar de la existencia de evidencias de algunos impactos producidos en los ecosistemas. Aun así, la investigación desarrollada con este enfoque es incipiente (Hanna, 2010; Botkin, Saxe, Araújo, Betts, Bradshaw, *et al.*, 2007; Campbell, Kapos, Scharlemann, Bubb, Chenery *et al.*, 2009).

Diversos autores reconocen que tales afectaciones sobre la biodiversidad ocurren en diferentes niveles y magnitudes que no distinguen entre biomas terrestres y marinos. Es por eso que los organismos deben adaptarse a las nuevas condiciones por lo que es posible observar variaciones en la distribución espacial y temporal, en la capacidad de dispersión y de reproducción, entre otros (Thuiller, Albert, Araújo, Berry, Cabeza *et al.* 2008; López-Medellín, Ezcurra, González-Abraham, Hak, Santiago y Sickman, 2011).

Entre las afectaciones que más preocupan en relación con la variabilidad climática, por su efecto sobre los biomas, es el incremento del nivel del mar, el cual se reporta con un aumento en el volumen del agua del mar y que se encuentra estrechamente relacionado con

el incremento de la temperatura global (IPCC, 2007; 2013). El mar Caribe es una de las zonas vulnerables a estas variaciones con evidencia de que el calentamiento está relacionado con el aumento del nivel del mar (March, Cabral, Echeverría, Bellot y Frausto, 2011).

Esta vulnerabilidad del Gran Caribe es discutida por Pabón (2003) quien señala aumentos del nivel del mar en Colombia. De igual manera, en el caso de Honduras, las temperaturas que se reportan son altas con promedios anuales de 28 °C y rangos de variación pequeños (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, Instituto de Conservación Forestal, Secretaría de Agricultura y Ganadería, 2011).

Asimismo, Costa Rica no es ajena a esta condición, y la influencia de la variabilidad climática podría estar incidiendo negativamente sobre la conservación marina y costera, siendo la información limitada para la planificación de estos recursos. Uno de los esfuerzos en esa línea, lo constituye el análisis de los vacíos de conservación marinos que definió 35 sitios prioritarios para la conservación (Alvarado, Herrera, Corrales, Asch y Paaby, 2010), sin embargo, la mayor parte de estos se ubicaron en el Pacífico del país.

Alvarado *et al.*, (2010), señalan que existen dos elementos importantes de rescatar. Primero, que los mayores esfuerzos en gestión e investigación marina se concentran en la costa Pacífica, y que la disponibilidad de información sobre la costa Caribe es limitada.

Esta distribución de la información marina implica que la aproximación de los posibles impactos de la variabilidad climática en el mar Caribe y sus áreas protegidas es escasa y que la información sobre diferencias de temperatura y precipitación es requerida para la toma de decisiones (Magaña y Caetano, 2007; Orellana, Espadas, Conde, y Gay, 2009; Anderson, Cherrington, Flores, Pérez, Carrillo y Sempris, 2008).

El enfoque principal de evaluación de la vulnerabilidad climática ha sido sobre las áreas continentales debido a que es donde los datos están principalmente disponibles. De ahí que la modelación en el mar es a escala gruesa con una resolución horizontal entre los 250 km y 600 km, pero aun así los modelos globales indican un incremento en las temperaturas del mar y la acidificación progresiva de los mismos que puede estar afectando la construcción de los exoesqueletos y las estructuras calcáreas en los organismos marinos

(Guinotte y Fabry, 2008; Zeebe, Zachos, Caldeira y Tyrrell, 2008; Kleypas, Feely, Fabry, Langdon, Sabine y Robbins, 2006; Orr, Fabry, Aumont, Bopp, Doney *et al.*, 2005).

A partir de este contexto, en el mar Caribe costarricense se denota la necesidad de desarrollar investigación en temas oceanográficos relacionados con los componentes físicos, químicos, geológicos y biológicos como los propone Alvarado *et al.*, (2011). Es por eso que el presente estudio tuvo como objetivo determinar la variabilidad espacio-temporal de las condiciones biofísicas del mar y sus implicaciones en dos áreas protegidas del Caribe Sur de Costa Rica.

Materiales y métodos

Para entender el comportamiento de varios procesos marinos como la productividad marina, los florecimientos algales nocivos, el estrés térmico en los arrecifes de coral y los procesos oceanográficos es posible analizar diversos parámetros ópticos y biofísicos marinos, como la temperatura superficial del mar (TSM), la concentración de clorofila a (Chl a), el coeficiente de atenuación difusa (K490) (CAD) y la reflectancia teledetectada (Cerdeira-Estrada y López-Saldaña, 2011).

Los datos se descargaron desde la web Giovanni (Geospatial Interactive Online Visualization and Analysis Infrastructure) de la NASA, específicamente de los sitios Ocean Portals y Meteorological Portals del cual se obtuvieron registros de los sensores MODIS-Aqua, MODIS-Terra y el Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) y Online Visualization and Analysis System (TOVAS), los cuales han sido avalados por el Grupo de Procesamiento del Océano y de Biología (OBPG) en el Goddard Space Flight Center.

Desde esta plataforma se visualizó, descargó y analizó las series de datos para el Caribe Sur de Costa Rica (9.43750317954 N - 10.5625025425 N), (83.104166666 W - 81.854161581 W), para los parámetros precipitación, temperatura superficial del mar (TSM), concentración de clorofila (Chl a), coeficiente de atenuación difusa (K490) (CAD) y materia orgánica disuelta (MOD) correspondientes a los años 2001 o 2003 y 2013, según fuera la disponibilidad que ofrece este sitio para la descarga.

Las condiciones biofísicas del mar se definen por Galvin (2006) como el conjunto de las características físicas, químicas, y microbiológicas que se presentan en el mar y que determinan su comportamiento oceanográfico y biológico. Estas condiciones pueden estar influenciadas por factores externos como la radiación solar, el aporte de nutrientes de los cuerpos de agua continentales, entre otros. Para fines de esta investigación se evaluaron los siguientes parámetros como descriptores de las condiciones biofísicas:

1) Precipitación mensual (PM): la información que provee el sensor remoto de la plataforma MODIS-Terra específicamente de TRMM, permite dar seguimiento y estudiar la dinámica espacial y temporal de la precipitación en zonas tropicales y subtropicales, por lo que ha sido sometido a evaluaciones de fiabilidad de los datos en distintas regiones del mundo, entre las cuales se destaca, Ecuador, las cuencas andinas y del Amazonas (Guarín y Poveda, 2013). Para el área de estudio, este parámetro se obtuvo con el código 3B42RT y corresponde a los datos registrados en mm/día para la zona.

2) Temperatura superficial del mar (TSM): es la temperatura del agua en la superficie del mar, concentrados en los datos nocturnos debido a que es cuando se produce menor variación de temperatura y el aporte de calor se ha reducido de forma importante ya que su principal fuente energética no está ubicada sobre la superficie. La medida de detección a distancia en la parte superior de 0,1 mm de la columna de agua, que es fuertemente influenciada por la radiación solar, por tanto, pueden diferir ligeramente de la temperatura superficial del mar. Este factor influye en los patrones de distribución y crecimiento de las poblaciones marinas (Dower, Leggett y Frank, 2000). El código del producto en el área de estudio correspondió al SST4.

3) Concentración de clorofila a (Chl a): se refiere a la concentración de la clorofila expresada en unidades de mg/m³. Esta variable es el producto total de los registros generados por el modelo de la NASA sobre biogeoquímicos oceánicos (NOBM), basado en la asimilación de datos de sensores remotos Chl a, no es un producto de los datos producidos por contacto directo de las observaciones de teledetección. Se considera un indicador grueso del fitoplancton (Kahrua; Marinoneb; Lluch-Cotac; Pares-Sierra y Mitchell, 2004; Signoret, Monreal-Gómez, Aldecoa y Salas-de-León, 2006)

4) El coeficiente de atenuación difusa a 490 nm (K490) (CAD): es un indicador de la claridad del agua. K490 expresa la profundidad de la luz visible en el azul de la región verde del espectro que penetra en la columna de agua. El valor de K490 representa la velocidad a la que la intensidad de luz a 490 nm se atenúa con la profundidad y de la cual se ha descrito una correlación positiva con datos de Secchi (Cerdeira-Estrada y López-Saldaña, 2011).

5) La materia orgánica disuelta (MOD): se ha relacionado a la clorofila u otras concentraciones de biomasa, material particulado, nutrientes, las precipitaciones y uso de la tierra (Chen, Hu, Conmy, Muller-Karger y Swarzenski, 2007). Son las fracciones de materia orgánica en muestras de agua que están retenidos por un filtro (que nominalmente es un filtro de fibra de vidrio con un tamaño de 0,7 micras de poro), respectivamente. La materia orgánica disuelta (MOD) es ópticamente detectable, es decir, que absorbe la luz, con mayor intensidad en el azul de rango UV.

En concentraciones suficientes de MOD se dispondría de color al agua en el que se disuelve. Las altas concentraciones de MOD en las aguas del mar pueden interferir con la estimación precisa de la clorofila en una concentración de detección a distancia de datos.

Las series de datos se descargaron en formato ASCII, los cuales contienen cada una de las variables georreferenciadas, y registradas diariamente durante todo el año y para cada uno de los años incorporados en el análisis, que correspondieron al 2001 o 2003 y el 2013 según la disponibilidad de datos. Estos datos fueron clasificados y filtrados para usarlos en el análisis posterior. Se descargaron las imágenes satelitales de la NASA (Ocean Color Radiometry) de la página Web de la NASA.

Para la precipitación mensual se calculó la diferencia entre los meses para el año 2001 o 2003 según correspondió y el año 2013. Se calculó la media, la varianza y la diferencia definida como el alejamiento o desviación del valor de referencia o del valor promedio que ha mostrado por cada variable en el tiempo. Para este caso específico se empleó como valor de referencia los señalados por la NASA.

Una vez seleccionados, los datos ASCII fueron trasladados a formato CSV de Excel, para ser transferidos al programa ArcGis 10.3 para convertirlos en formato Shape, en

el cual se procedió a delimitar las áreas requeridas para el Caribe Sur. Una vez realizado este proceso, cada una de las capas mensuales de las variables se sometió al análisis empleando el método de interpolación con el módulo Spatial Analyst Tools, siendo el Inverse Distance Weighting (IDW) el que proporcionó el mejor ajuste. Este método calcula el peso de los valores de acuerdo a la relación inversa de la distancia (Villatoro, Henríquez y Sancho, 2008) mediante la ecuación:

$$Z(S_0) = \sum \frac{1}{d_i} * Z(S_i)$$

Dónde: donde $Z(S_0)$ es el valor que se intenta predecir para el lugar S_0 , N es el número de puntos muestrales alrededor del lugar que se va a predecir y que serán considerados en el cálculo, d_i es el peso asignado a cada punto muestreado y $Z(S_i)$ es el valor observado del lugar S_i .

El Inverse Distance Weighting (IDW) es una función inversa de la distancia, parte del supuesto que los datos que están más cerca son más parecidas, por lo tanto tienen más peso e influencia sobre el punto a estimar (Murillo, Ortega, Carrillo, Pardo y Rendón, 2012). Se utilizó este método ya que asume que los valores más cercanos al punto de referencia se parecen más que aquellos que están en la vecindad, por lo que el valor o peso de los mismo es mayor que en lo que están lejos de un punto de referencia. Así como por que la cantidad de puntos no fue constante para los períodos para las variables analizadas debido a que existían meses en los cuales el satélite no registró la totalidad de puntos, por lo que no permitía emplear otros métodos para la interpolación.

Para cada variable mencionada se obtuvo una capa raster mensual para el año 2001 o 2003 y el año 2013 según la disponibilidad de los datos. Las cuales se restaron empleando el uso de la calculadora raster para obtener una nueva capa de ese formato que se utilizó como base para la elaboración de los mapas temáticos mensuales.

Finalmente, para obtener las zonas críticas dentro del área de estudio se realizó una sobreposición con un nivel de transparencia del 50%, con las capas mensuales correspondientes a cada parámetro descrito y para los cuales se definieron cuatro grados de

amenaza para el afecto sinérgico de las variables analizadas en su distribución espacial definida de la siguiente manera: bajo, medio, alto y muy alto, cada una representada con una escala de color que varía de amarillo a rojo respectivamente.

La categoría denominada Bajo corresponde a las zonas donde se produce la menor variación espacio temporal de la diferencia por la sinergia de los parámetros analizados. Medio se refiere a una variación espacio temporal media de la diferencia por la unión de las variables analizadas. Alto corresponde a una importante influencia del conjunto espacio temporal de las variables, pero no es el mayor influencia. Muy alto corresponde a la mayor variación espacio temporal de la diferencia por la sumatoria de las influencias de los parámetros analizados

Con la capa base de los límites de Costa Rica, del Atlas Digital del Instituto Tecnológico de Costa Rica del 2014 y la división política administrativa del Sistema de Información Territorial (SNIT) se elaboraron cada uno de los mapas temáticos para la representación de cada una de las variables mencionadas con anterioridad.

Análisis de los datos

Se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, la de homocedasticidad de Levene's y la prueba de X^2 para evaluar la independencia a cada variable. Se realizó una comparación de medianas empleando la prueba U de Mann-Whitney para la diferencia de concentración de clorofila a (Chl a) (mg/m³) entre años debido a que el tamaño de las muestras fue diferente. A los promedios de las diferencias de la temperatura superficial del mar (TSM) de los años 2001 y 2013 así como de los años 2003 y 2013 mostraron que la distribución mensual de los datos es asimétrica. Por lo que se aplicó una prueba de suma de rangos de Wilcoxon donde se compararon las medianas.

Se realizó una prueba de T-student para muestras independientes para comparar la precipitación mensual (PM) acumulada por mes en los años 2001 y 2013 y a los años 2003 y 2013 para comparar los datos con la fluctuación de la clorofila y la prueba de comparación de medias con la prueba de U de Mann-Whitney para el coeficiente de atenuación difusa (k₄₉₀) (m⁻¹) (CAD) en los años 2003 y 2013. Se le aplicó un análisis

pareado de Wilcoxon-Mann para comparar las medianas de las precipitaciones mensuales en los años 2001 y 2011.

Resultados

Precipitación mensual (PM)

Para el 2001, la precipitación anual sobre la superficie del mar en el área de estudio fue de 830,11 mm y para el año 2013 fue de 633, 21 mm, con una diferencia acumulada de -178,09 mm entre ese periodo. El promedio de la PM fue de $67, 61 \pm 30,43$ mm y $52,77 \pm 31,91$ mm para los años 2001 y 2013 respectivamente, siendo el promedio de las diferencias en la cantidad de PM en los años 2001 y 2013, de -3 ± 6 mm.

Los meses donde se observó la mayor precipitación, para el 2001, correspondieron a junio, noviembre y agosto en orden ascendente de importancia. Mientras, que para el 2013, los meses con mayor precipitación correspondieron a julio y noviembre (Fig. 8). Por otro lado, el periodo seco correspondió a febrero y enero para los años 2001 y 2013 respectivamente. La diferencia positiva en la cantidad de PM, en los años 2001 y 2013, de mayor magnitud se presentó en febrero en tanto que la diferencia negativa en la cantidad (cuadro 9).

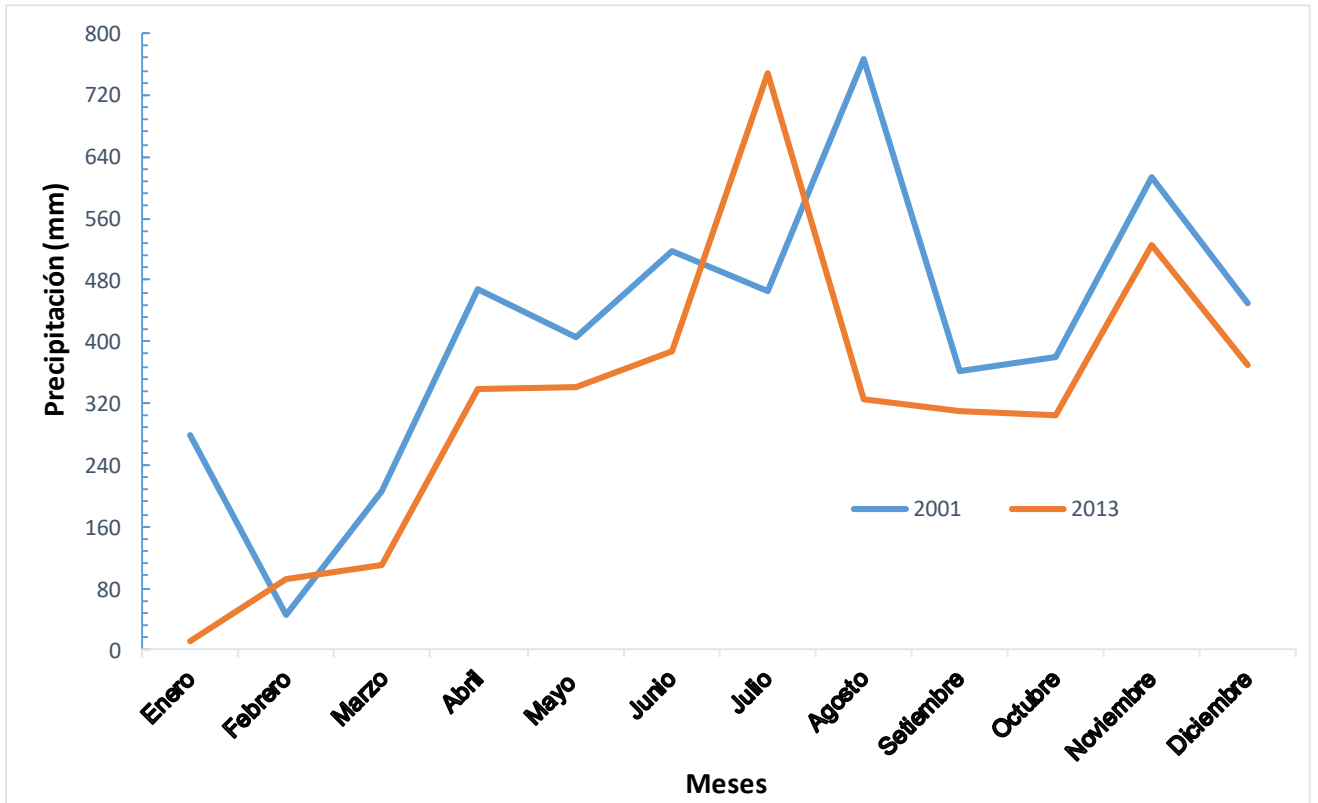


Figura 8. Distribución de las precipitaciones medias (PM) mensuales en el Caribe Sur de Costa Rica para las series pluviométricas 2001 y el 2013.

En nueve de los doce meses se observó disminución de la cantidad de lluvia del 2013 respecto al 2001. Sin embargo, no se cuenta con un valor promedio de referencia de precipitación sobre la superficie del mar en el Caribe Sur. Las estaciones meteorológicas se ubican sobre tierra firme y la cercana a la costa se ubica en la ciudad de Limón, específicamente en el aeropuerto.

Se establece la comparación de precipitación en relación a los datos históricos del tiempo reportados en la Estación Meteorológica Limón, ubicada al sur de la ciudad de Limón reportada por Climate-Data.org. La desviación respecto a la referencia indica una reducción de la precipitación en el área de estudio. Sólo en tres de los meses se observó un aumento de la precipitación y coinciden en que el año 2013 fue seco respecto al año 2001.

Cuadro 9. Diferencias de la distribución de las precipitaciones medias (PM) mensuales en el Caribe Sur de Costa Rica para los años 2001 y el 2013.

Mes/ Precipitación (mm/día)	Año		Diferencia 2001- 2013	Referencia	Diferencia
	2001	2013			
Enero	279,06	10,99	-268,07	286	-
Febrero	46,56	92,84	46,28	187	+
Marzo	205,19	109,83	-95,36	182	-
Abril	467,17	339,76	-127,41	242	-
Mayo	407,10	341,47	-65,63	272	-
Junio	517,36	386,53	-130,84	257	-
Julio	465,66	749,12	283,46	378	+
Agosto	766,44	324,83	-441,61	288	-
Setiembre	362,05	309,71	-52,34	128	-
Octubre	379,44	304,11	-75,34	172	-
Noviembre	613,84	525,79	-88,05	345	-
Diciembre	449,86	368,93	-80,93	425	-

Al comparar la PM acumulada en los años 2001 y 2013, no se estableció una diferencia significativa entre la PM entre años ($t = 1,16581$ $p = 0,256175$). Adicionalmente, para el mes de febrero, la mayor diferencia se ubicó en las áreas cercanas al REGAMA, mientras que el PNC se ubicó en una franja intermedia de precipitación. En el caso de diciembre, las precipitaciones se mantuvieron con diferencias mínimas para toda el área de estudio (Fig. 9).

Las variaciones de la PM afectaron las dos áreas marinas protegidas que se ubican en el área de estudio: PNC y REGAMA, ya que mostraron cambios evidentes. En tanto que en las cercanías del RNVS Limoncito y la Isla Uvita se presentó la menor variación en espacio temporal en esta variable. Se incluye la variación estacional y espacial de las diferencias de la PM para cada uno de los meses entre los años evaluados en el Anexo 3.

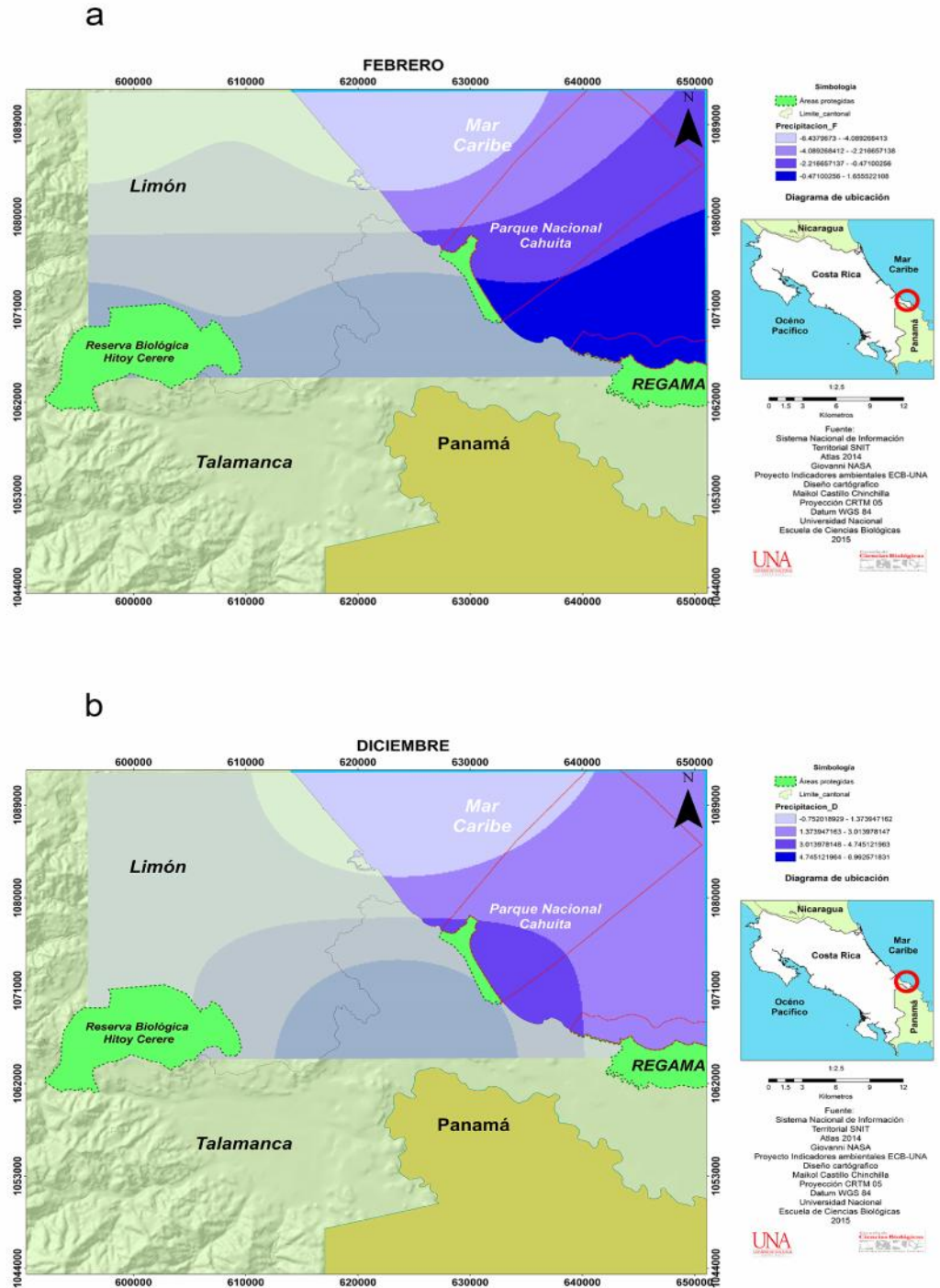


Figura 9. Distribución de las diferencias de precipitación mensual en el Caribe Sur de Costa Rica en los años 2001 y 2013. a) máxima diferencia en febrero - b) mínima diferencia en diciembre.

Temperatura superficial del mar (TSM)

En el Caribe Sur, para el 2003, el promedio de TSM mensual fue de $28,83\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,556\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una varianza de 0,873. En tanto que, en el 2013, el promedio de TSM mensual fue de $28,83\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,934\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una varianza de 0,309.

La comparación entre las diferencias de la TSM para los años 2001 y 2013, empleando la prueba U de Mann-Whitney para la comparación entre promedios de TSM entre meses mostró diferencias significativas para un valor de $p < 0,05$, que implica un incremento de la misma. En 10 de los meses comprendidos en el análisis se observó un aumento de la TSM cuyo máximo fue de $4,38\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el mes de diciembre. El periodo donde se observó una disminución de la TSM fue en octubre (Cuadro 10).

El mes que presentó la mayor diferencia de la TSM fue febrero con un porcentaje de cambio durante el período de estudio de $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. En tanto, que octubre mostró la menor diferencia de la TSM siendo está negativa.

Cuadro 10. Cambio en las temperaturas superficiales del mar nocturnas (4 Micrones). Signo positivo denota aumento. Signo negativo denota disminución.

Periodo (2001-2013)	Cambio	% Cambio
Enero	+	2,58
Febrero	+	3,30
Marzo	+	1,93
Abril	+	2,11
Mayo	-	0,43
Junio	+	1,79
Julio	+	2,26
Agosto	+	1,39
Septiembre	+	2,92
Octubre	-	0,31
Noviembre	+	3,24
Diciembre	+	4,38

En 10 de los meses de los años 2001 y 2013 comprendidos en el análisis se observó un aumento de la TSM cuyo máximo fue de $4,38\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el mes de diciembre. El

periodo donde se observó una disminución de la TSM fue en octubre (Fig. 10; Anexo 9 y 10).

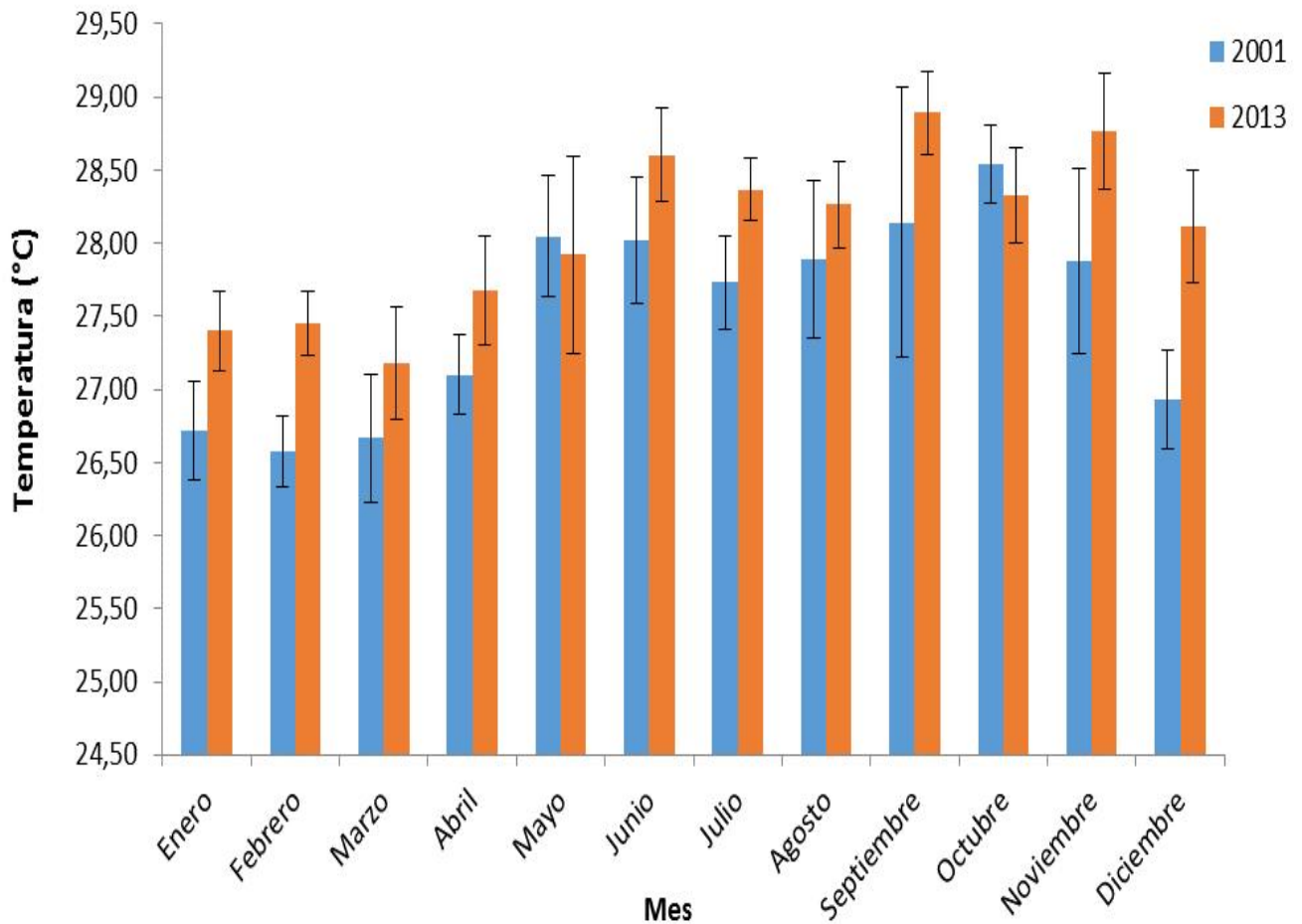


Figura 10. Temperaturas superficiales del mar por mes para los años 2001 y 2013 en el Caribe Sur de Costa Rica

Aunque no se observa un patrón claro en la distribución de las diferencias de la TSM, tres meses al año, las máximas se ubicaron dentro de las dos áreas marinas protegidas con área marina, a saber, el PNC y el REGAMA.

El análisis de las diferencias mensuales de la TSM de los años 2001 y 2013 mostró que el mes de febrero fue cuando se observaron las menores diferencias de la TSM en el área de estudio (Fig. 11a). Las mínimas diferencias de TSM durante febrero se observaron frente al RNVS Limoncito en las cercanías de la ciudad de Limón donde se ubica la

desembocadura del río Cieneguita. Así como en la zona alejada de la costa fuera de los límites del PN Cahuita y en las cercanías de la desembocadura el río Sixaola dentro del REGAMA. En tanto que los valores altos de estas diferencias durante el mes que mostró menor cambio se observaron entre aproximadamente la desembocadura del río Banano y el PNC, cerca de la zona costera principalmente.

El mes de octubre mostró las mayores diferencias mensuales de TSM de los años 2001 y 2013 en el área de estudio (Fig 11b). Las diferencias mínimas del TSM durante octubre se observaron frente al RNVS Limoncito, frente a la ciudad de Limón hasta las cercanías de la desembocadura del río Bananito, el sector de Gandoca del REGAMA, desde las inmediaciones de Punta Mona hasta la desembocadura del río Sixaola. En tanto que los valores altos de estas diferencias durante el mes que mostró mayor cambio se observaron entre aproximadamente el PNC, en la zona costera y el sector de Manzanillo en el REGAMA, cerca de la zona costera principalmente. Mientras que las diferencias medianas de la TSM durante octubre se observaron desde aproximadamente las zonas alejadas de la costa del PNC y las áreas externas del área de estudio.

Para el período 2002-2003 se reportó un evento ENOS de carácter moderado según MCphaden (2004) por lo que se incluyeron para este análisis los datos del año 2003. En este caso, el valor promedio de TSM para el 2003 y el 2013 fue de $28,83 \pm 0,93$ °C y $28,08 \pm 0,56$ °C respectivamente. El promedio de la diferencia de la TSM fue de $-0,74 \pm 0,90$ °C. En términos generales, la TSM mostró una diferencia entre meses y entre años ($W= 84910$; $p = 0,001$). Durante el año 2003, se registraron las mayores temperaturas alcanzando las máximas en octubre (Fig. 11).

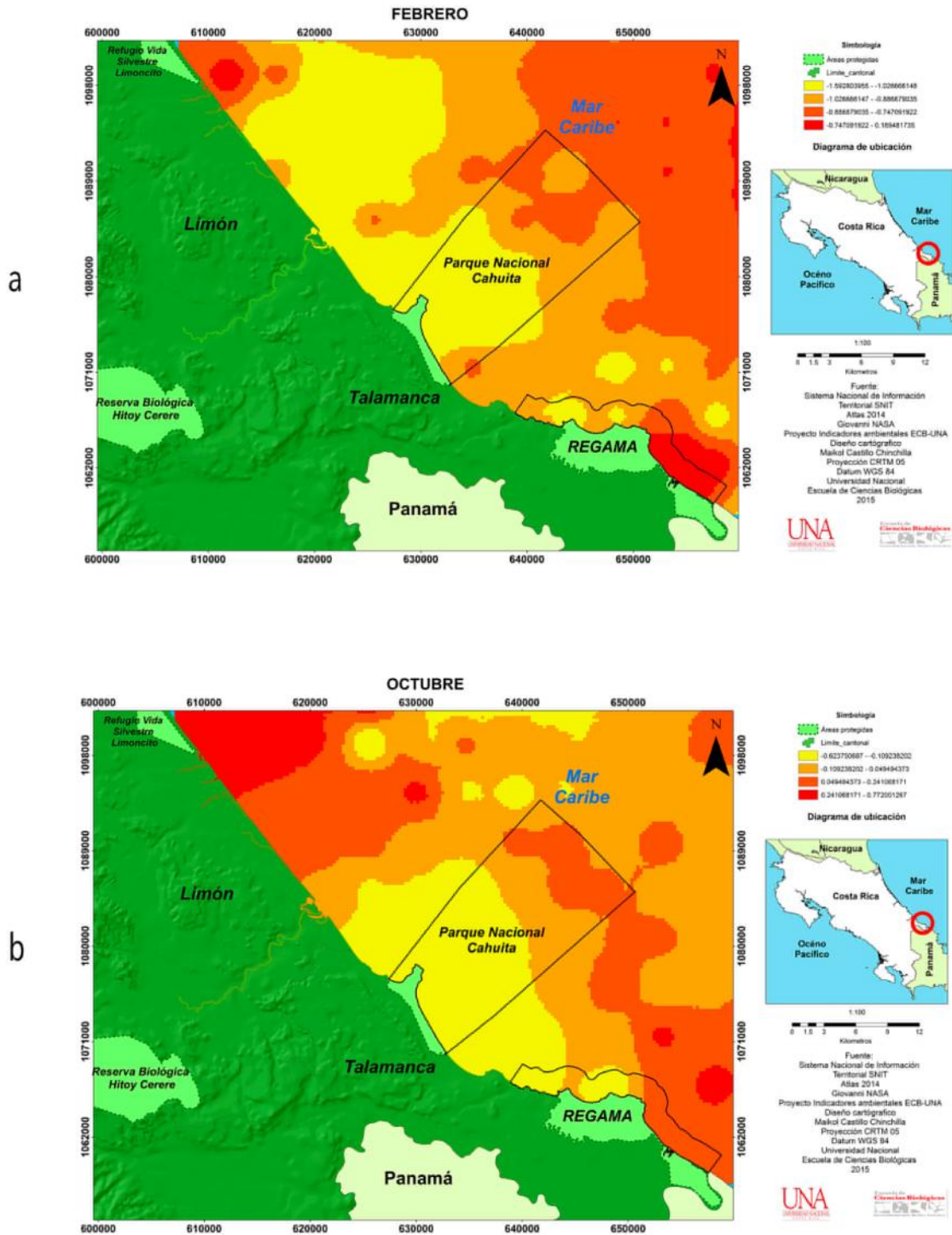


Figura 11. Distribución de las diferencias de temperatura superficial del mar en el Caribe Sur de Costa Rica en los años 2001 y 2013. a) mínima diferencia en febrero - b) Máxima diferencia en octubre.

Aunque no se observa un patrón claro para el año 2003 y el año 2013, en la distribución de las diferencias de la TSM, en enero y setiembre se ubicaron dentro de las dos áreas marinas protegidas, a saber, el PNC y el REGAMA (Fig. 12).

Sin embargo, en el mes de enero cuando se observaron las menores diferencias de TSM para el año 2003 y el año 2013, las menores diferencias se ubicaron entre el RNVS Limoncito y el río Banano aproximadamente, así como frente a la punta Cahuita en el sector Puerto Vargas del PNC y el sector Gandoca del REGAMA (Fig. 12a). Las mayores diferencias durante este mes se observaron en las zonas costeras entre el río Banano y el sector Manzanillo del REGAMA y en las zonas alejadas de la costa del área de estudio.

En tanto, que durante el mes de setiembre se observaron las mayores diferencias de TSM para el año 2003 y el año 2013 se mantuvo la misma tendencia. Las menores diferencias se ubicaron entre el RNVS Limoncito y el río Banano aproximadamente, así como frente a la punta Cahuita en el sector Puerto Vargas del PNC y el sector Gandoca del REGAMA (Fig. 12b). Las mayores diferencias durante este mes se observaron en las zonas costeras entre el río Banano y el sector Manzanillo del REGAMA y en las zonas alejadas de la costa del área de estudio. Se incluye la variación estacional y espacial de las diferencias de la TSM para cada uno de los meses en los años evaluados en el Anexo 4.

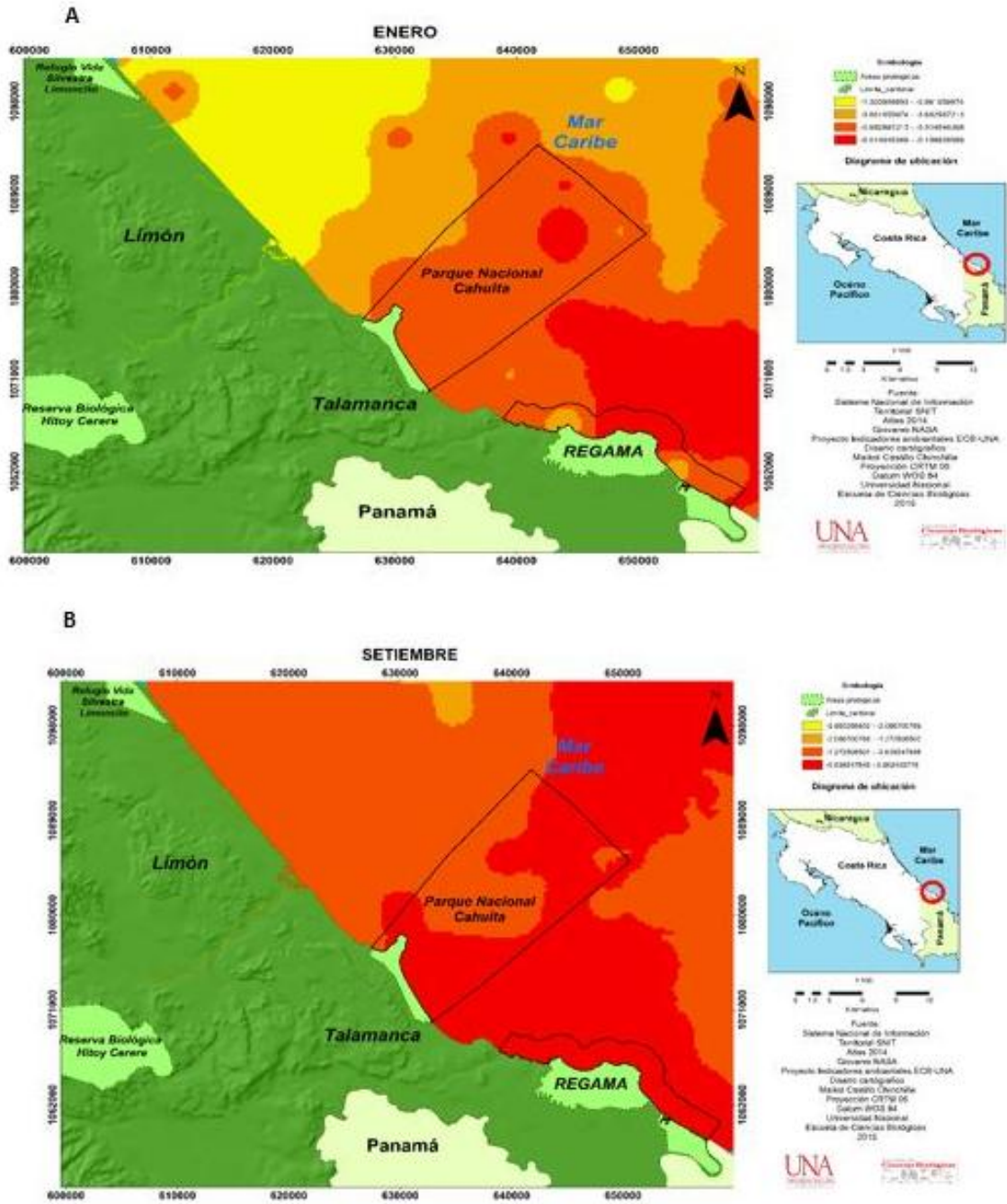


Figura 12. Distribución de las diferencias de temperatura superficial del mar (TSM) en el Caribe Sur de Costa Rica en los años 2003 y 2013. A) mínima diferencia en enero - B) Máxima diferencia en setiembre.

Clorofila (Chl a)

En el área de estudio, para el 2003, el promedio de Chl a mensual fue de $0,233 \text{ mg} / \text{m}^3 \pm 0,120 \text{ mg} / \text{m}^3$, con una varianza de 0,014. En tanto que, en el 2013, el promedio de Chl a mensual fue de $0,178 \text{ mg} / \text{m}^3 \pm 0,075 \text{ mg} / \text{m}^3$, con una varianza de 0,006. Para el año 2003, los meses que mostraron las mayores concentraciones de Chl a fueron mayo y agosto. Mientras que para el 2013 fueron enero, junio, agosto y diciembre (Fig. 13).

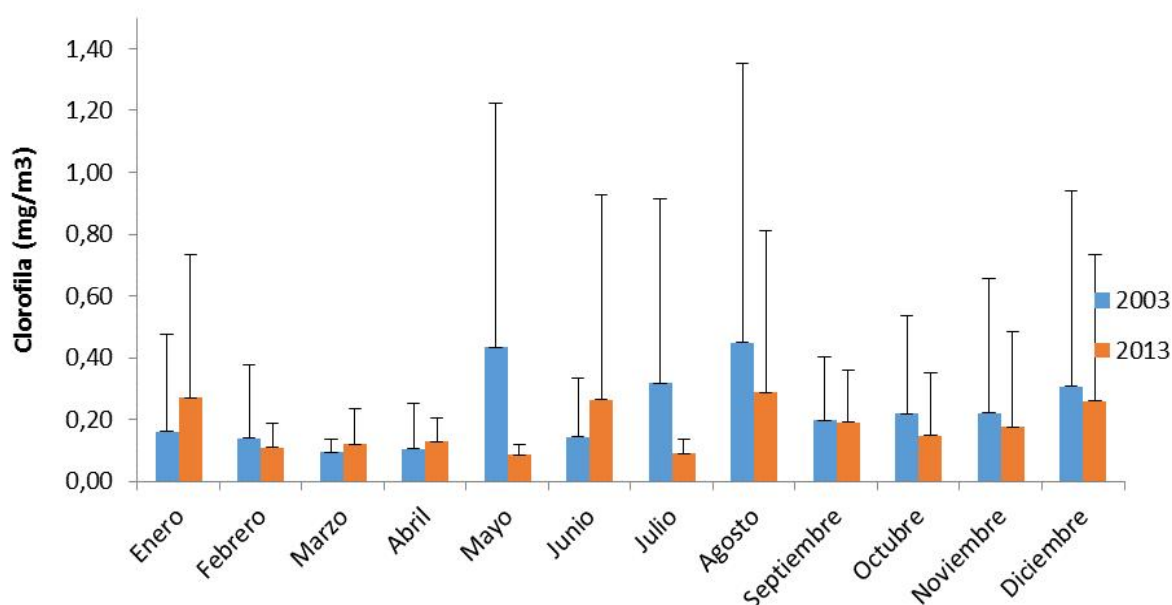


Figura 13. Clorofila a mensual para los años 2001 y 2013 en el Caribe Sur de Costa Rica

La diferencia en la Chl a en el área de estudio muestra variaciones importantes entre meses de los años 2003 y 2013, siendo de mayo a agosto los que mostraron la mayor variación. La diferencia promedio durante el periodo fue de $-0,055 \pm 0,135 \text{ mg/m}^3$, con un promedio de $0,233 \pm 0,12 \text{ mg/m}^3$ y de $0,18 \pm 0,075 \text{ mg/m}^3$ para los años 2003 y 2013 respectivamente (Fig. 14).

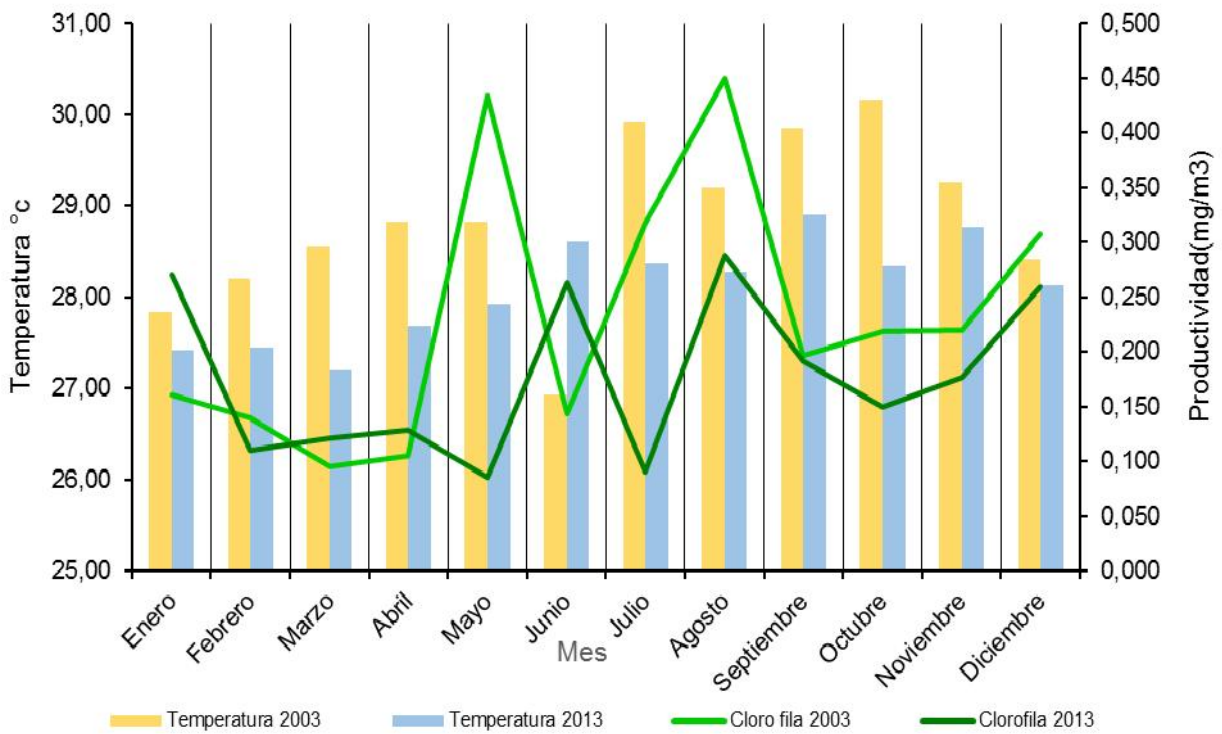


Figura 14. Distribución mensual de la temperatura superficial del mar (TSM) y de la concentración de la clorofila en el Caribe Sur en los años 2003 y 2013.

Según la prueba U de Mann-Whitney, para la comparación de medianas, existe una diferencia significativa en la concentración de Chl a en los años 2003 y 2013 ($W=8,86652E7$; $p < 0.05$) que implica un incremento de la misma. Cuatro de los meses mostraron una diferencia positiva (enero, marzo, abril, junio) mientras que los restantes mostraron diferencias negativas. El porcentaje de cambio mayor fue de 83% durante el mes de junio en tanto que el menor cambio fue del 3% en setiembre (Fig. 15).

Por otro lado, la distribución de la concentración de Chl a en el área de estudio no mostró una tendencia espacial. En algunos meses, la diferencia se acercó a la costa en otras

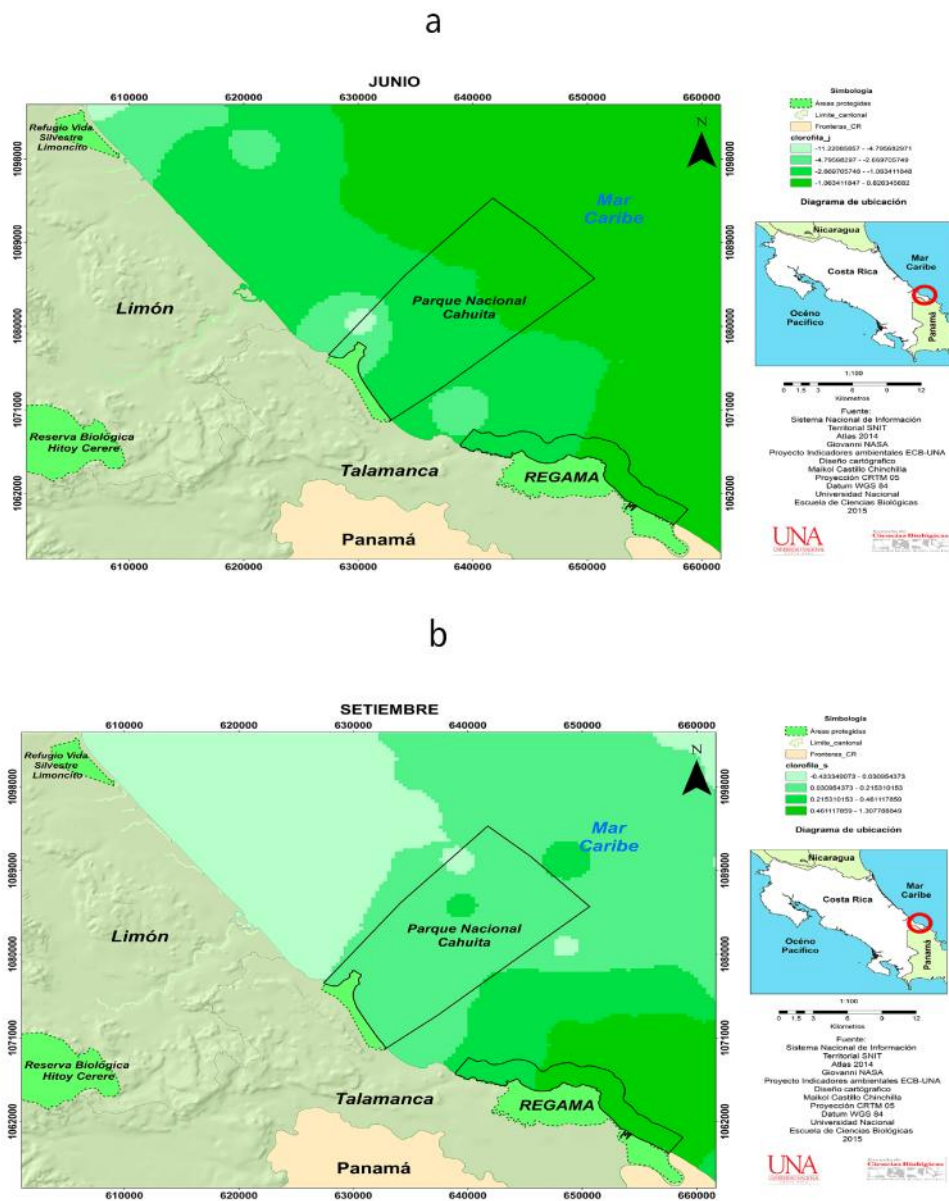


Figura 15. Distribución espacial de las diferencias de clorofila a en el Caribe Sur de Costa Rica en los años 2001 y 2013. a) junio - b) setiembre.

ocasiones por el contrario se alejó de la costa, cerca del PNC y del REGAMA se presentaron algunos periodos de diferencia de concentración de clorofila, lo cual podría estar asociado con la diversidad marina, sin embargo, no hay una tendencia clara en la ubicación tales diferencias (Fig. 15). Se incluye la variación estacional y espacial de las diferencias de la Chl a para cada uno de los meses de los años evaluados en el Anexo 5.

Coefficiente de atenuación difusa (K490) (CAD)

En el área de estudio, el 2003 mostró un promedio de K490 CAD mensual fue de $0,052 \text{ mg} / \text{m}^3 \pm 0,002 \text{ mg} / \text{m}^3$, con una varianza de 0,0004. En tanto que, en el 2013, el promedio de K490 CAD mensual fue de $0,044 \text{ mg} / \text{m}^3 \pm 0,011 \text{ mg} / \text{m}^3$, con una varianza de 0,0001. Para el año 2003, el mes que mostró mayor concentración de K490 CAD fue agosto coincidiendo con el 2013.

No se observa una tendencia clara durante el año de las áreas que permiten mayor penetración de la luz. Durante marzo, la diferencia de este coeficiente muestra una tendencia a disminuir la capacidad de penetración de la radiación solar incidente. En tanto que la mayor parte del año, esta capacidad de penetración aumenta principalmente en las áreas silvestres protegidas (Fig. 16).

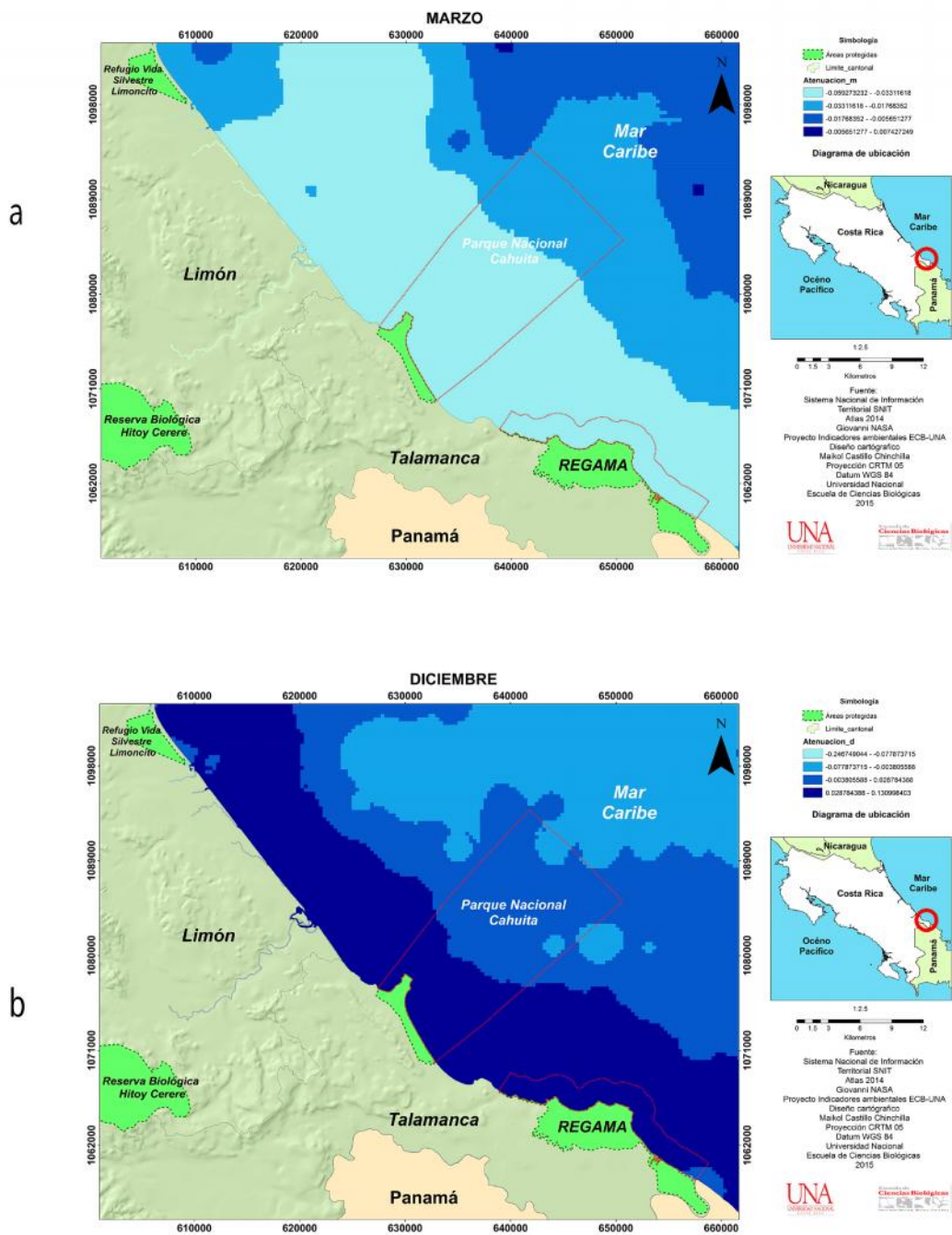


Figura 16. Distribución espacial de la diferencia del coeficiente de atenuación difusa ($K-490$) (CAD) en el Caribe Sur de Costa Rica en los años 2001 y el 2013.

La comparación entre los años 2003 y 2013 del coeficiente de atenuación difusa k490-CAD empleando la prueba de comparación de medias Wilcoxon-Mann, mostró diferencias significativas entre los dos periodos, especialmente los meses de mayo ($t = 257780$; g.l 418; $p < 0,05$), julio ($t = 50880$; g.l 92; $p < 0,05$), agosto ($t = 53400$; g.l 150; $p < 0,05$) y octubre ($t = 326190$; g.l 552; $p < 0,05$). El restante de los meses no mostró diferencias (Fig. 16; Anexo 11 y 12).

El mes de marzo se comportó similar en toda la zona costera del Caribe, presentando las menores diferencias en este parámetro, mientras que el mes de diciembre, en la zona costera, presentó mayor exposición a las diferencias de la K490 CAD (Fig. 17). Se incluye la variación estacional y espacial de las diferencias de la K490-CAD para cada uno de los meses entre los años evaluados en el Anexo 6.

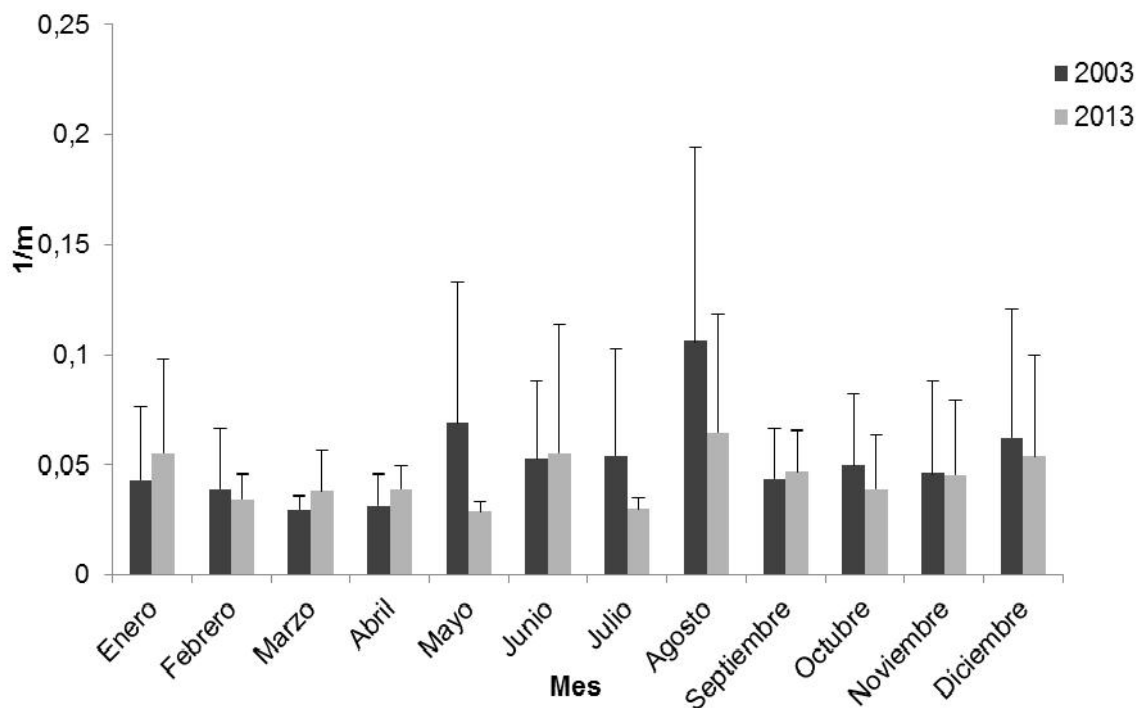


Figura 17. Distribución mensual del coeficiente de atenuación difusa (K490) (CAD) para los años 2003 y 2013 en el Caribe Sur de Costa Rica.

Materia orgánica disuelta (MOD)

En el área de estudio, para el 2003, el promedio de MOD mensual fue de $1,366 \text{ mg} / \text{m}^3 \pm 0,471 \text{ mg} / \text{m}^3$, con una varianza de 0,221. En el 2013, el promedio de MOD mensual fue de $1,933 \text{ mg} / \text{m}^3 \pm 0,696 \text{ mg} / \text{m}^3$, con una varianza de 0,484. Para el año 2003, el mes que mostró mayor concentración de MOD fue diciembre en tanto que para el 2012 correspondió al mes de febrero.

La distribución de MOD fue asimétrica, siendo entre abril y setiembre donde se presentaron las mayores variaciones, seguidos de octubre y febrero, por el contrario, en marzo se registró la menor diferencia. Este comportamiento está asociado con los periodos de variación en las precipitaciones que han sido reportados para la zona, los cuales son coincidentes con los obtenidos en el presente estudio (Fig.18).

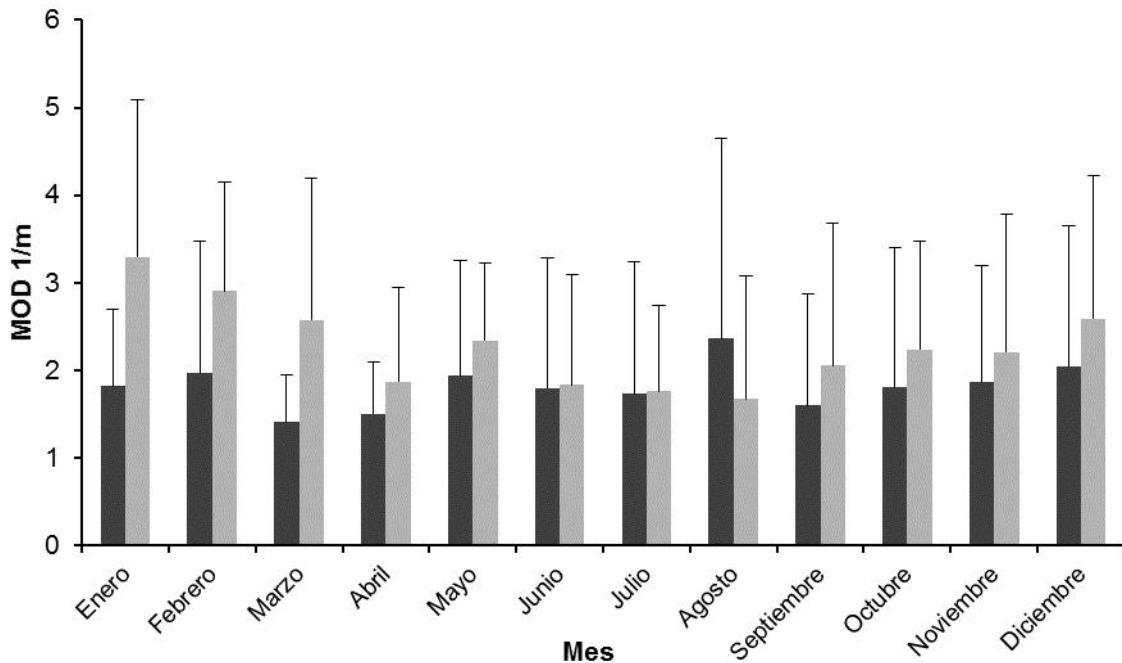


Figura 18. Distribución temporal de las diferencias de la materia orgánica disuelta (MOD) en el Caribe Sur de Costa Rica para los años 2003 y el 2013.

El análisis pareado de Wilcoxon-Mann para MOD, evidenció que en el Caribe Sur existen diferencias significativas entre las diferencias mensuales entre periodos, excepto durante el mes de junio.

Durante el mes de abril, la distribución de MOD alcanzó las mayores concentraciones cerca del PNC y del REGAMA. En setiembre dicha condición evidenció un cambio espacial importante, obteniéndose la menor concentración en el extremo sur del refugio, con las mayores diferencias en algunas partes del área marina del PNC (Fig.19). Se incluye la variación estacional y espacial de las diferencias de la MOD para cada uno de los meses evaluados en el Anexo 7.

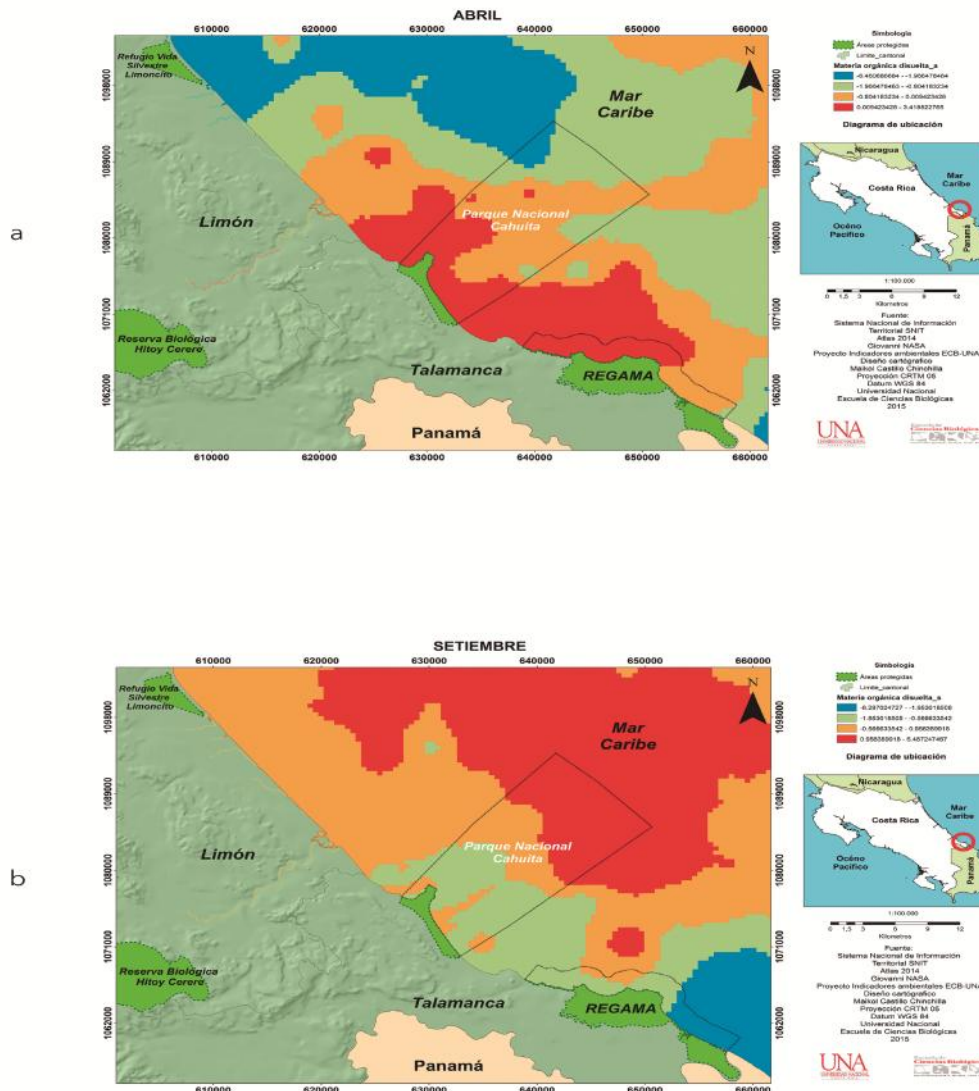


Figura 19. Distribución espacial de la diferencia para la materia orgánica disuelta (MOD) en el Caribe Sur de Costa Rica para los años 2003 y 2013

Mediante la sobre posición de las capas raster mensuales de cada variable se logró determinar que el mes de abril fue el que presentó la categoría de menor diferencia y se mantuvo entre media a baja, mientras que junio presentó la condición “Muy alta” en cuanto a la coincidencia de diferencias climáticas, siendo el REGAMA el que evidencia la afectación mayor del Caribe Sur (Fig. 20). Se incluye la variación estacional y espacial de las diferencias de la sobreposición de las cinco variables analizadas para cada uno de los meses de los años evaluados en el Anexo 8.

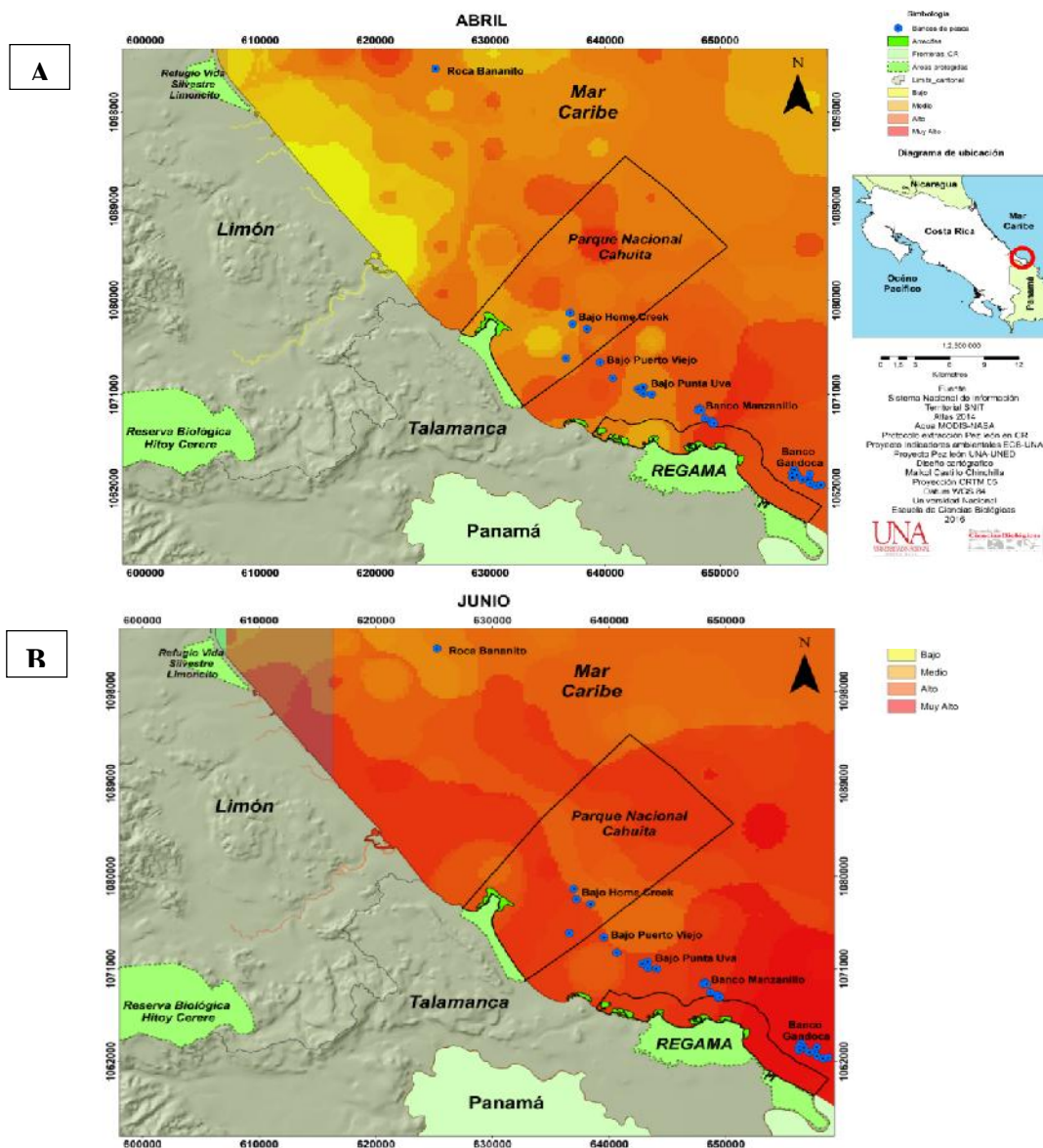


Figura 20. Distribución espacial de las diferencias e implicaciones de los parámetros temperatura superficial del mar (TSM), clorofila (Chl a), coeficiente de atenuación difusa

(K490) (CAD) y materia orgánica disuelta (MOD) en el Caribe Sur de Costa Rica en los años 2001-2013.

La intensidad de esta variación se reduce cuando se evalúa entre un año con presencia del fenómeno ENOS (2003) y un promedio (2013). Esta variación fue intensa durante el mes de enero y febrero, la cual se ubica cerca de la costa y afecta parcialmente ambas áreas protegidas. Fuera de las áreas protegidas esta condición de variación se mantiene alta e incluye localidades donde se presentan áreas de pesca.

Durante marzo y abril, se observó la menor variación en la combinación de las variables sobre todo cerca de la zona costera. Por lo que las condiciones parecen estables para los ecosistemas presentes en las áreas marinas protegidas del área de estudio y para las áreas de pesca. La mayor variación ocurrió en las áreas alejadas a la costa (Fig. 21).

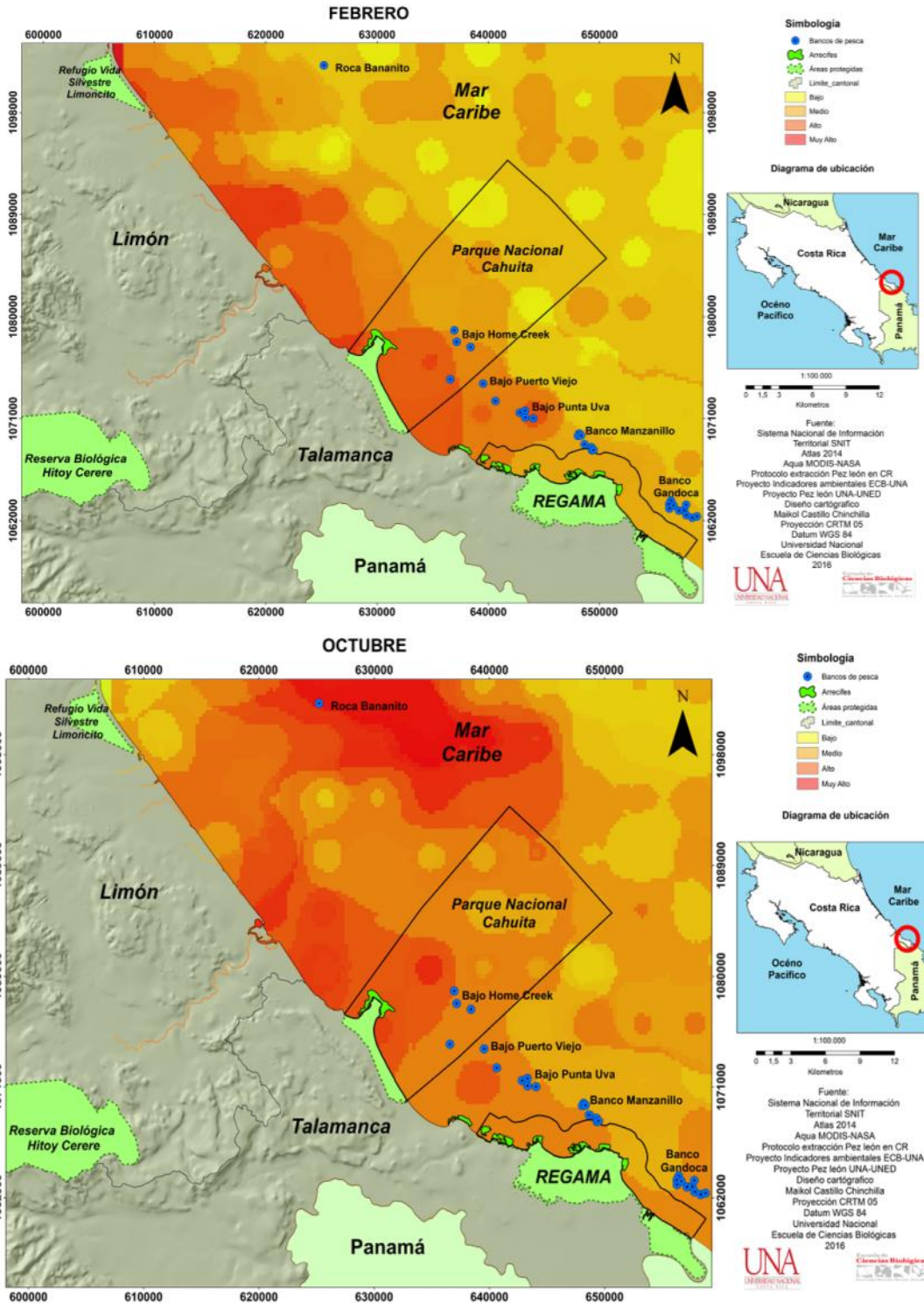


Figura 21. Distribución espacial de las diferencias mensuales de los parámetros temperatura superficial del mar (TSM), clorofila, atenuación difusa (K490) (CAD) y materia orgánica disuelta (MOD) en el Caribe Sur de Costa Rica para los años 2003 y 2013. a) febrero y b) octubre. Los puntos señalados en azul están reportados como zonas de pesca.

Discusión

Las variables analizadas para el Caribe Sur presentaron variaciones temporales y espaciales en las concentraciones de la PM, TSM, Chl a, K490-CAD y MOD en el mar, probablemente asociadas con la dinámica física que se presenta cerca del continente y que está relacionada con las características morfológicas y el tipo de marea ocurrente según lo que plantean Brenes-Rodríguez y Benavides-Morera (2015).

La reducción en la precipitación que se presentó en el área de estudio puede ser el resultado de la inhibición en formación de nubes como consecuencia del calentamiento de la atmosfera y del mar, lo que conlleva a esta disminución. Es fundamental establecer que la zona sigue mostrando patrones de precipitación altos comparados con el Pacífico pero que se ha visto reducido en el histórico. En este sentido, Rivera y Amador (2009) plantean que algunos modelos se encuentran reportando mayores precipitaciones como consecuencia de un sesgo en la estimación, es decir, no se ajustan a la tendencia histórica de los datos.

Se observa que los promedios mensuales de precipitación del año 2001 y el 2013 están por debajo de los promedios mensuales reportados por el INM (2008), lo cual responde a la condición de que contamos con una única estación meteorológica cercana a la costa en el Caribe Sur. Misma que está ubicada en tierra firme donde los patrones de vientos, corrientes y humedad difieren de la zona marina. Lo anterior debido a que el mar tiene una influencia regulador sobre el clima dada la capacidad que tiene de liberar la energía en forma de calor lentamente; que provoca diferencias de temperatura entre el continente y el mar produciendo brisas que pueden viajar hacia o desde el continente.

Las variaciones de temperatura pueden incidir sobre los procesos de evaporación en la superficie del mar. Cuando la temperatura es alta, la evaporación es alta también. Provocando acumulaciones de agua en la atmosfera que al ser trasladadas al continente son liberadas en forma de lluvia. Durante el invierno-primavera, los frentes fríos incursionan por el Caribe, los que refuerzan el viento sobre el país. En el verano-otoño, los ciclones tropicales favorecen la aparición de vientos trasladando las nubes sobre el continente (Muñoz, Fernández, Gutiérrez y Zárate, 2002). Lo que explica que exista variación entre

los valores de referencia de la precipitación reportada por IGN (2008) y la precipitación detectada por el satélite.

Los análisis en escalas temporales que se utiliza es la interdecadal, la cual es principalmente afectada por la presencia de tendencias propias del clima en la región Caribe, y que se evidencian en términos de la variabilidad climática. Mismos que tienen influencia sobre las principales variables del ciclo hidrológico como la humedad relativa, los caudales máximos y mínimos, los temporales, la evapotranspiración (Poveda, 2004). Los cambios analizados no incluyen años con fenómeno ENOS, estos se encontraron en periodos intermedios al set de datos. Coincide lo observado con Escobar y Aceituno (1998) que reportaron reducciones de las precipitaciones en áreas andinas de Chile similares a las que se observadas en este estudio.

Se mostró un cambio importante en la TSM en el Caribe Sur de Costa Rica, lo cual explica las variaciones en las precipitaciones de la zona. Coincidiendo con lo que propone Alfaro y Cid (1999) donde explicó que las diferencias en la TSM afectan la intensidad y duración de las precipitaciones en Centroamérica. Estos mismos autores señalan que esos cambios están influenciados tanto por las variaciones meteorológicas que se observan tanto en el Caribe como en el Pacífico.

La magnitud de los cambios observados en el mar Caribe, específicamente al sur de Costa Rica, provocaron cambios en los balances hídricos y energéticos de la región que pueden implicar impactos sociales, económicos y ambientales. Los aspectos relacionados con los cambios de la precipitación tienen un impacto significativo sobre la planificación de diversas actividades para las cuales el agua es indispensable para actividades como el riego, el agua potable, la generación hidroeléctrica, el transporte acuático, las pesquerías, la acuicultura, entre otros.

Otros autores han reportado cambios en el comportamiento de la precipitación, especialmente durante la época lluviosa en la región Centroamérica influenciado por la dinámica del Atlántico Tropical Norte y del Pacífico Tropical Este, y que determinan la longitud de esta estación (Alfaro, Cid y Enfield, 1998). Las diferencias en las precipitaciones en el área de estudio difieren de lo planteado por Fundación La Salle citado

por Monente y Astor (1987), quienes señalan que los aumentos de la TSM y del aire contribuyen a aumentar la evaporación y por tanto, inciden en un aumento de las precipitaciones.

Lo que difiere por lo propuesto en relación con la diferencia de la TSM en el Atlántico Tropical Norte explica la convección profunda asociada a la precipitación, con diferencias positivas que coinciden con una mayor cantidad de precipitación (Taylor, Enfield y Chen 2002; Alfaro, 2007). Estas diferencias probablemente estén asociadas con eventos relacionados a la variabilidad climática que implican aumentos en las concentraciones de los gases de efecto invernadero, cambios en los patrones de precipitación, de presiones atmosféricas, etc.

La temperatura superficial del mar (TSM) es considerada un indicador ambiental dada su relación con elementos físicos, tales como las corrientes marinas, la intensidad de los vientos, la dinámica de la capa de mezcla, la precipitación e intensidad de la radiación solar, las surgencias e incluso, hasta cambios del nivel del mar. Las condiciones que se presenta en el mar, inducen y propician los ciclos de vida de múltiples especies, en el metabolismo de los organismos, participan en la regulación de las poblaciones y las comunidades, incluso, puede provocar estrés de individuos (Bernal, Poveda, Roldán y Andrade, 2006).

En el área de estudio, durante los años 2001 y 2013, la TSM baja se presentó durante el periodo lluvioso, que abarca de diciembre a marzo, y que coincide con el ingreso de los vientos alisios y esto, aumenta la posibilidad de surgencias. Dichas alteraciones en el patrón de las TSM causaron que, en el Caribe Sur, se presentaran incrementos en las concentraciones de la clorofila a, la cual experimentó picos máximos de registro al darse una disminución en la temperatura de un mes a otro.

La situación antes mencionada, coincide con lo descrito por Cerdeira-Estrada y López-Saldaña (2011), quienes mencionan que la disminución en la TSM puede inducir el incremento en las concentraciones de Chl a, que se ve favorecida por la presencia de altas tasas de producción primaria y de crecimiento.

En el Caribe de Colombia, se reportó que la TSM varió entre 26,5 y 31,5°C siendo los puntos máximos los cercanos a las desembocaduras de los ríos (Bernal, Montoya, Garizábal, Camilo y Toro, 2005). Valores similares se presentan también en el mar Caribe en el sur de Costa Rica que se reportan en este trabajo. Estos aumentos de temperatura provocan estrés en las comunidades de organismos marinos.

Esta variable puede incidir con los procesos de distribución de la productividad primaria, que está determinada por factores ambientales como el flujo de energía en el sistema que contribuyen con la concentración de clorofilas. Esto es relevante porque el fitoplancton marino es fundamental en el ciclo global de carbono, uno de los elementos que contribuyen con los gases de efectos invernadero y que pueden aportar a la biomasa pesquera que sustenta la economía local mediante la pesca artesanal.

Esto contribuye con las características químicas del mar tales como el dióxido de carbono está en equilibrio entre el agua del mar y la atmósfera. El fitoplancton durante el proceso fotosintético elimina CO₂ contribuyendo a mitigar el efecto invernadero y libera oxígeno. Se conoce, además, que las temperaturas altas inhiben la fotosíntesis, por lo que diferencias positivas, podrían limitar la capacidad del fitoplancton de fijar CO₂, debido a que la actividad de las enzimas implicadas en estos procesos y que controla las tasas de producción bruta y respiración se degradan.

Estas diferencias con tendencia al aumento, también han sido mencionadas por algunos autores asociados en una relación directa entre los incrementos de temperatura del agua del mar y el crecimiento de algas productoras de toxinas, principalmente diatomeas y dinoflagelados, cuyos crecimientos pueden ser masivos. Tales eventos tienen impactos de tipo sanitario, económico y ambiental para el ser humano en una amplia gama actividades como por ejemplo el uso recreativo de la playa, las pesquerías de moluscos, crustáceos y peces; y la ruptura de equilibrios en las comunidades biológicas costeras (Aguilera y Echenique, 2011)

Estas algas, cuyo crecimiento se favorece con el aumento de temperaturas superficiales del mar, pueden ser precursores de enfermedades como la ciguatera, misma que es producida por dinoflagelados del género *Gambierdiscus*, que son consumidos por

peces herbívoros de los arrecifes coralinos y podría afectar las cadenas alimenticias en distintos niveles tróficos (Tester, Feldman, Nau, Kibler y Litaker, 2010; Azziz-Baumgartner, Luber, Conklin, Tosteson, Granade, Dickey, y Backer, 2012).

Aunque en el Caribe Sur de Costa Rica, no se han reportado casos de ciguatera, el aumento de la TSM debe orientarnos a establecer sistemas de alerta temprana para prevenir los impactos que pueda ocasionar en caso de un brote. Según lo observado en el área de estudio; el comportamiento de las temperaturas superficiales del mar registradas, se puede sugerir un riesgo latente de que algunos de los peces, incluyendo los de importancia comercial y los que son claves para el mantenimiento de la salud de los arrecifes de coral presenten esta condición.

Como se comentó anteriormente, este tipo de afectación generaría un impacto directo, no solo en los ecosistemas, sino en las múltiples actividades humanas que están relacionadas con la salud, las cuales contribuyen directamente en la economía local, tal como el turismo, la pesca y la actividad pesquera, tanto a nivel local como regional.

Aunado a la anterior, los incrementos de la temperatura como los que se presentaron en el año 2003 en el Caribe Sur pueden propiciar una baja en el reclutamiento de las larvas de las diferentes especies de corales e, incluso, puede incrementarse la mortalidad de los mismos, tal como lo sugiere Castillo, Ries, Weiss y Lima (2012) quienes sugieren que el aumento de las temperaturas en el mar reduce las tasas de calcificación de los corales impactando de forma directa los ecosistemas marinos.

Esta variación de la temperatura superficial del mar, durante el año 2003, está asociada al fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), que ha sido considerado de intensidad moderada en relación con periodos anteriores de este mismo evento (MCPhaden, 2004) provocando impactos sobre el mar y el clima de las zonas costeras.

Este fenómeno puede magnificar la influencia sobre la variabilidad climática, ya que ambos se encuentran influenciados por las interacciones entre la troposfera y las diferentes regiones del mundo. En ese sentido, debe considerarse que el fenómeno ENOS que se desarrolla en el Pacífico incide sobre los patrones en otros sistemas marinos. Este

hecho se refleja en la dinámica dipolar del comportamiento de la diferencia de la TSM que describen dos regiones separadas (Houghton y Tourre, 1992).

De igual manera, es escasa la investigación que se desarrolla sobre el Caribe en relación a los impactos y cambios en el mar producto del fenómeno ENOS. Ese aumento de la TSM que se observó durante el 2003 podría ser una respuesta a esta condición. Sin embargo, este hecho no sólo es un problema científico para ahondar, sino que tiene consecuencias sobre las condiciones socioeconómicas de la zona.

Dentro de los impactos que podrían percibirse que en el área de estudio se encuentra la reducción de las precipitaciones que inciden sobre el sector agrícola. También podría afectar las pesquerías locales por los cambios de temperatura que probablemente contribuyan con la variación en la distribución espacio-temporal de los organismos.

Esta relación entre El Niño y la variabilidad climática están asociados con los aumentos de TSM en el Caribe Sur de Costa Rica. Pero esto no es sorpresa, sino que ha sido explicado como una respuesta al aumento del CO₂ atmosférico. Y se desprende del Cuarto Informe de Evaluación del IPCC que reza “la mayor parte del calentamiento global observado durante el siglo XX se debe muy probablemente (90% de confianza) al aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero causado por las sociedades humanas” (IPCC, 2007).

Otro factor que incide sobre el aumento del nivel del mar es el aumento de la TSM, ya que ocurre una tendencia a aumentar el volumen del agua cuando aumenta la temperatura. Esta condición puede causar un incremento de inundaciones en zonas bajas costeras (Conde-Álvarez y Saldaña-Zorrilla, 2007), erosión costera, mortalidad de la vegetación costera, salinización de mantos acuíferos, pérdida de infraestructura costera como casas, carreteras, caminos, etc. Algunas de las cuales ya se perciben en el área de estudio.

El incremento de la TSM podría impactar los arrecifes coralinos, los pastos marinos y hasta los manglares. Esto tendría impacto sobre las áreas marinas protegidas de la zona, a saber: Parque Nacional Cahuita y el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo. Ambas categorías de manejo están velando por la conservación de estos

ecosistemas, pero el aumento de la TSM podría vulnerar estos ecosistemas y generar retos importantes de conservación.

Adicionalmente, las pesquerías podrían ser afectadas e incluso, pueden ocurrir los desplazamientos en la localización de los bancos de peces (Conde-Álvarez y Saldaña-Zorrilla, 2007). En la zona, los locales aprovechan los peces para consumo local, de subsistencia y para el ecoturismo. Los cambios espaciales y temporales de las poblaciones de peces comerciales pueden impactar las economías locales.

Las variaciones señaladas anteriormente afectan los ecosistemas marinos y costeros. Se ha reportado que el incremento de la TSM aumenta la mortalidad de corales duros, la enfermedad del blanqueamiento y las enfermedades que provocan el blanqueamiento coralino. De igual manera, la deposición de carbono en el mar y la acidificación que se genera produce una reducción en la disponibilidad de carbonato de calcio fundamental en el crecimiento de los arrecifes de coral (March, Cabral, Echeverría, Bellot y Frausto, 2011).

Los cambios observados en los patrones de TSM pueden tener influencia positiva y negativa sobre la biota presente en ambas áreas protegidas que han sido reportados en otras localidades (Jiménez, Cortes y León, 2001).

La mayoría de las escalas de análisis de las tendencias específicas en diversos parámetros; sin embargo, indican un incremento en la TSM igual que se reporta en este trabajo y una acidificación progresiva por el depósito excesivo de carbono en los mares que afecta a todos los organismos con esqueletos y exoesqueletos que habitan en estos ecosistemas (March *et al.*, 2011).

La clorofila está relacionada con la productividad debido a que mide el flujo neto del CO₂ inorgánico que se transforma en orgánico mediante la fotosíntesis, favoreciendo el movimiento del CO₂ acumulado en la atmósfera sobre el mar. Su análisis, a partir de imágenes satelitales, nos permite caracterizar la superficie del agua de mar en procesos que ocurren a escalas espaciales y temporales como los empleados en este estudio (Grob, Quiñones y Figueroa, 2003). Siendo esta una de las variables que contribuyen a entender la condición biológica de los ecosistemas marinos y es considerada un indicador del fitoplancton.

En esta investigación, se logró determinar que ocurren diferencias espaciales y temporales en relación con la clorofila a en el Mar Caribe en Costa Rica. Durante el mes de junio se observaron las máximas concentraciones de esta variable en las aguas oceánicas y una tendencia general al incremento durante la época lluviosa. Se observó que, en el 2013, esta concentración fue mayor que en el 2001.

También, se observa una alta concentración cerca del límite del área marina protegida, que sugiere para la plataforma continental que se encuentra asociado a un fenómeno de surgencias que normalmente se desarrolla cuando ocurren variaciones de temperatura del agua (Escobedo-Urías *et al.*, 2007). Excepto en el REGAMA, donde esas máximas concentraciones de clorofila a se encuentran cercanas a la costa.

En general, las condiciones del mar fueron mesotróficas tal y como proponen Brenes y Benavides (2015). De igual manera, coinciden los puntos donde se observan condiciones eutróficas con lo observado por dichos autores. Por lo que se observa coincidencia entre los datos satelitales y los in situ, a pesar de que la escala de los datos satelitales es grande.

Las condiciones de clorofila a observadas están relacionadas con una serie de factores como el aumento de la densidad del agua, la temperatura superficial del mar, los cambios en el uso del suelo, el uso de agroquímicos, el manejo de desechos sólidos y líquidos, entre otros. Los cuales explican las condiciones de aumento de esta variable en la cercanía de la costa. Estas condiciones contribuyen al ingreso de materia inorgánica y orgánica al mar y ha sido reportado por Escobedo-Urías *et al.* (1999) y Escobedo-Urías; Martínez-Lopez; Jiménez-Illescas Ulloa-Perez y Zavala-Norzagaray (2007) en Sinaloa.

Los aportes de energía y biomasa que se mueven desde el continente hasta el mar favorecen el incremento de la productividad en el mar abierto y la diversidad de especies de importancia económica y ecológica. Los ríos grandes como el río Banano, Bananito, Estrella, Vizcaya, Sixaola, entre otros, contribuyen con el arrastre de estos materiales a las condiciones descritas como lo señalan Brenes y Benavides (2015). De igual forma, señalan el papel del patrón local de escorrentías como el principal mecanismo de fertilización de la

zona de estudio, los cuales inciden en la disponibilidad de nutrientes que determina la comunidad fitoplanctónica y por ende, la concentración de clorofila a.

El pH es afectado por la concentración del dióxido de carbono en el agua. Siendo uno de los parámetros sugeridos por diversos autores para evaluar el impacto y la influencia de la variabilidad climática sobre el mar (March *et al.*, 2011).

La productividad primaria en el mar es el producto de la presencia de donde ocurre la fotosíntesis y la biosíntesis. La fijación de carbono ocurre por la clorofila contenida en los cloroplastos de las microalgas (Kirk, 1994) y es una medida de la biomasa de fitoplancton. Éstas forman asociaciones con redes microbianas que contribuyen con el ciclado de nutrientes y del carbono, la transferencia entre niveles tróficos o su movimiento a las aguas profundas.

El fitoplancton contribuye con los procesos biogeoquímicos y actúa como la bomba de carbono que reduce el CO₂ atmosférico. Y puede ocurrir variabilidad estacional, intraestacional e interanual en un sistema donde pueden intervenir aspectos fisiológicos, ecológicos y de parámetros ambientales como la TSM y la precipitación. Además, existe coincidencia en el área de estudio con lo propuesto por Montecino y Pizarro (2006) que observaron una distribución heterogénea de la clorofila satelital con sitios específicos con altas concentraciones.

Definitivamente, en las áreas marinas protegidas del Caribe Sur de Costa Rica deben establecerse y desarrollarse medidas de mitigación a la variabilidad climática para asegurar que fijan carbono en el largo plazo con la premisa de que contribuyen con un aporte superior a la fijación que las áreas terrestres (Campbell, Kapos, Lysenko, Scharlemann, Dickson, Gibbs, Hansen y Miles. 2008). Esta premisa se sustenta en que estos ecosistemas son importantes sumideros de carbono que ha sido evaluado por diversos autores (Falkowski, 2002; Crooks, Herr, Laffoley, Tamelander, y Vandever, 2010).

La importancia de la materia orgánica disuelta (MOD) para los ecosistemas acuáticos ha sido estudiada desde hace tiempo (Del Castillo, 2005; Nelson y Siegel, 2002). Está relacionada con la geoquímica de las aguas donde se forman compuestos

biológicamente disponibles para los organismos que las habitan (Mopper y Kieber, 2002; Moran y Zepp, 1997).

También está relacionado con la presencia de oxígeno que influyen con la biodisponibilidad de los metales traza y los nutrientes (Mopper y Kieber, 2002; Coble, 2007), representa en las cuencas oceánicas, el producto de la oxidación de la materia orgánica particulada marina (Nelson, Siegel, Carlson, Swan, 2010; Swan, Siegel, Nelson, Carlson, Nasir, 2009.). Lo cual fue demostrado en relación con los valores de las propiedades completas de absorción y emisión espectrales, en combinación con las pruebas químicas in situ por Andrew, Del Vecchio, Subramaniam y Blough (2013).

Los cambios en los patrones de los factores físicos y químicos del mar se encuentran interrelacionados entre sí, los cuales probablemente se encuentran influenciados de forma sinérgica. Incluso, afectan hasta en el aumento del nivel del mar. Es este sentido, se proyecta un aumento del nivel del mar entre 0,18 y 0,59 m, y es probable que los extremos de calor y las precipitaciones torrenciales continuarán siendo frecuentes (Conde-Álvarez y Saldaña-Zorrilla, 2007).

Debe considerarse que la biodiversidad que se desarrolla en el mar depende de las condiciones físicas químicas en las que se desenvuelven (Lara-Lara; Arenas; Bazán; Díaz; Escobar; García; Gaxiola; Robles; Sosa; Soto; Tapia y Valdez-Holguín 2008). Por tanto, los ciclos de vida, el metabolismo, los factores poblacionales, el estrés de los organismos, así como la variabilidad biológica dependen para su éxito de los factores que analizamos en esta investigación (Bonilla, Quintero, Cordero, Basoa, Marín y Figueroa, 2003).

Se concluye entonces que existe variabilidad espacio temporal en los parámetros PM, TSM, Chl a, MO y K490-CAD entre el año 2003 y 2013, que se evidencian en los análisis planteados. Estas condiciones inciden en el estado de salud de los ecosistemas arrecifales haciéndolos vulnerables a la variabilidad climática. Y aunque se observa una condición de estado en los arrecifes de regular a bueno (han perdido calidad) en el artículo 1 de este documento, la respuesta de los ecosistemas puede ser lenta e incluso, puede presentarse en la composición de la comunidad. Misma que no se evaluó a falta de datos históricos.

La mayor variabilidad se evidencia en los períodos extremos del año (lluvioso y seco), donde las condiciones con mayor cambio se corresponden con los meses de febrero y octubre. Esto coincide con que con la variabilidad climática se extreman los valores de los parámetros biofísicos; en el periodo seco, las sequías son mayores y en periodo lluvioso las lluvias son intensas, la temperatura incrementa con los años en el periodo seco, la penetración de la luz se reduce en el periodo lluvioso y productividad biológica aumenta en el periodo lluvioso y es mayor en 2013.

Referencias bibliográficas

- Aguilera, A., y Echenique, R. (2011). Consideraciones generales de Cyanobacteria: aspectos ecológicos y taxonómicos. En: Giannuzzi, L (ed). Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud. Serie: temas de salud ambiental n° 5. (pp 21-40) Ministerio de salud de la Nación. Buenos Aires, Argentina.
- Alcolado, P. M., Caballero-Aragón, H., Lara, A., Rey-Villiers, N., Arriaza, L., Lugioyo, G., Alcolado-Prieto, P., Castellanos, S., Perera, S., y Rodríguez-García, A. (2013). *Resiliencia en crestas de arrecifes coralinos del este del golfo de Batabanó, Cuba, y factores determinantes probables*. Serie Oceanológica, 13, 49-75.
- Álvarez-Borrego, S. (2007). Principios generales del ciclo del carbono en el Océano. En: Hernández de la Torre, B., & Gaxiola-Castro, G. (Ed.), Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México (pp 11-28). Instituto Nacional de Ecología.
- Alfaro, E. J., y Cid, L. (2009). Ajuste de un modelo VARMA para los campos de anomalías de precipitación en Centroamérica y los índices de los océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Atmósfera*, 12(4), 205-222, ISSN 2395-8812. Recuperado de <<http://www.revistascca.unam.mx/atm/index.php/atm/article/view/8451>>.
- Alfaro, E. (2007). Escenarios climáticos para temporadas con alto y bajo número de huracanes en el Atlántico. *Revista de climatología*, 7, 1-13. Recuperado de <http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/01/reclim07a.pdf>
- Alfaro, E., Cid, L., y Enfield, D. (1998). Relaciones entre el inicio y el término de la estación lluviosa en Centroamérica y los océanos Pacífico y Atlántico tropical. *Investigaciones marinas*, 26, 59-69. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-71781998002600006>
- Anderson, E.R., Cherrington, E.A., Flores, A.I., Pérez, J.B., Carrillo, R., and Sempris, E. (2008). Potential impacts of Climate Change on biodiversity in Central America, México and the Dominican Republic. CATHALAC / USAID. 105. Panama. Recuperado de <http://www.cathalac.org/en/publications/publication-news/climate-change/235-potential-impacts-of-climate-change-on-biodiversity>
- Andrew, A., Del Vecchio, R., Subramaniam, A., and Blough, N. (2013). Chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in the Equatorial Atlantic Ocean: Optical properties and their relation to CDOM structure and source. *Marine Chemistry*, 148, 33–43.
- Alvarado, J., Herrera, B., Corrales, L., Asch, J., y Paaby, P. (2010). Identificación de las prioridades de conservación de la biodiversidad marina y costera en Costa Rica. *International Journal of Tropical Biology and Conservation*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v0i0.3143>

- Azziz-Baumgartner, E., Luber, G., Conklin, L., Tosteson, T. R., Granade, H. R., Dickey, R. W., and Backer, L. C. (2012). Assessing the incidence of ciguatera fish poisoning with two surveys conducted in Culebra, Puerto Rico, during 2005 and 2006. *Environmental health perspectives*, 120(4), 526.
- Bernal, G., Poveda, P., Roldán, P., y Andrade, C. (2006). Patrones de variabilidad de las temperaturas superficiales del mar en la Costa Caribe Colombiana. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 30 (115), 195- 208. ISSN 0370-3908. Recuperado de <http://www.docentes.unal.edu.co/gpoveda/docs/Bernal%20et%20al%20ACCEFYN%202006.pdf>
- Gladys, B. F., Montoya, L.J., Garizábal, C., y Toro, M. (2005). La complejidad de la dimensión física en la problemática costera del Golfo de Urabá. *Colombia Gestión y Ambiente*, 8 (1), 123-135. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/1694/169421171009.pdf>
- Bonilla, J., Quintero, A., Cordero, J., Basoa, E., Marín, B., y Figueroa, Y. (2003). Condiciones hidrográficas y químicas en la columna de agua de las adyacencias de la cuenca de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela. *Saber, Universidad de Oriente, Venezuela*, 15(1-2), 106-112.
- Botkin, D. B., Saxe, H., Araújo, M. B., Betts, R., Bradshaw, R. H.W., Cedhagen, T., Chesson, P., Dawson, T. P., Etterson, J. R., Faith, D. P., Ferrier, S., Guisan, A., Hansen, A. S., Hilbert, D. W., Loehle, C., Margules, C., New, M., Sobel, M. J., and Stockwell, D. R. B. (2007). Forecasting the effects of global warming on biodiversity. *Bioscience*, 57, 227-236.
- Breitburg, D. L., and Riedel, G. F. (2005). Multiple stressors in marine systems. En Norse, E., & Crowder, L. (Ed.), *Marine conservation biology: the science of maintaining the sea's biodiversity* (pp.167-182). EEUU, Washington D.C: Island.
- Campbell, A., Kapos, V., Lysenko, I., Scharlemann, J. P. W., Dickson, B., Gibbs, H. K., Hansen, M., and Miles, L. (2008). Carbon emissions from forest loss in protected areas. UNEP World Conservation Monitoring Centre. 38.
- Campbell, A., Kapos, V., Scharlemann, J. P., Bubb, P., Chenery, A., Coad, L., Dickson, B., Doswald, N., Khan, M. S., Kershaw, F., and Rashid, M. (2009). Review of the literature on the links between Biodiversity and Climate Change: Impacts, Adaptation and Mitigation. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Montreal. Technical Series, 42, 124. Recuperado de <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-42-en.pdf>
- Castillo, K. D., Ries, J. B., Weiss, J. M., and Lima, F. P. (2012). Decline of fore reef corals in response to recent warming linked to history of thermal exposure. *Nature Climate Change*, 2(10), 756-760.
- Cerdeira-Estrada, S., y López-Saldaña, G. (2011). Nuevo Sistema Satelital de Monitoreo Oceánico para México. *Ciencias Marinas*, 37(2), 237-247.
- Coble, P.G. (2007). Marine optical biogeochemistry: the chemistry of ocean color. *Chem. Rev*, 107 (2), 402-418.
- Conde-Álvarez, C., y Saldaña-Zorrilla, S. (2007). Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 23 (2), 23 – 30.
- Cortés, J., and Wehrtmann, I. S. (2009). Diversity of marine habitats of the Caribbean and Pacific of Costa Rica. En Wehrtmann, I. S., & Cortés, J. (Ed.). *Marine Biodiversity of Costa Rica, Central America* (pp. 1-45). Alemania, Berlin: Monogr. Biol. 86
- Chen, Z., Hu, C., Conmy, R. N., Muller-Karger, F., and Swarzenski, P. (2007). Colored dissolved organic matter in Tampa Bay, Florida. *Marine Chemistry*, 104 (1), 98-109.

- Crooks, S., Herr, D., Laffoley, D., Tamelander, J., and Vandever, J. (2010). Capturing and Conserving Natural Coastal Carbon: Building mitigation, advancing adaptation. World Bank, IUCN, ESA PWA. 8 pp.
- Dower, J., Leggett, W., and Frank, K. (2000) Commentary: Improving fisheries oceanography in the future. En Parson, T, & Harrison, P. (Ed.) Fisheries Oceanography, an Integrative Approach to Fisheries Ecology and Management (pp. 263-281). Reino Unido, Oxford: Blackwell.
- Dudley, N. (2003). No Place to Hide: Effects of Climate Change on Protected Areas. Equilibrium, WWF Climate Change Programme. 11 pp.
- Del Castillo, C.E. (2005). Remote Sensing of Coastal Aquatic Environments. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Escobar, F., y Aceituno, P. (1998). Influencia del fenómeno ENSO sobre la precipitación nival en el sector andino de Chile central durante el invierno. Bull. Ints. fr. études andines, 27 (3), 753-759.
- Escobedo-Urías, D., Hernández-Real, M. T., Herrera-Moreno, N., Ulloa-Pérez, A. E, y Chiquete, A.Y. (1999). Calidad bacteriológica del Sistema Lagunar de San Ignacio Navachiste, Sinaloa. Ciencia y Mar. Universidad del Mar, Oaxaca III, (9), 17–27.
- Escobedo-Urías, D., Martínez-López, A., Jiménez-Illescas, A., Ulloa-Pérez, A. E., y Zavala-Norzagaray, A. (2007). Intercambio de carbono orgánico particulado del sistema lagunar San Ignacio-Navachiste, Sinaloa, con el mar adyacente. En Hernández de la Torre, B., & Gaxiola Castro, G. Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México (171-186). Instituto Nacional de Ecología. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/531.pdf>
- Falkowski, P. G. (2002). Los secretos del océano podrían salvar al planeta. Scientific American Latinoamérica, 40-45.
- Galvín, R. M. (2006). Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. Recuperado de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48101/componente48099.pdf
- Gaxiola-Castro G, García-Cordova J, Valdez-Holguín, J.E., and Botello-Ruvalcaba, M. (1995). Spatial distribution of chlorophyll a and primary productivity in relation to winter physical structure in the Gulf of California. Cont. Shelf. Res., 15, 1043–1059.
- Grob, C., Quiñones, R., y Figueroa, D. (2003). Cuantificación del transporte de agua costa-océano a través de filamentos y remolinos ricos en clorofila a, en la zona centro-sur de Chile. Gayana (Concepción), 67(1), 55-67. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-65382003000100008&lng=es&tlng=es. 10.4067/S0717-65382003000100008.
- Guarín, G., y Poveda, G. (2013). Variabilidad espacial y temporal del almacenamiento de agua en el suelo en Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc., 142, 89-113. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v37n142/v37n142a07.pdf>
- Guinotte, J.M., and Fabry, V. J. (2008). Ocean acidification and its potential effects on marine ecosystems. Year in Ecology and Conservation Biology, 1134, 320-342. Recuperado de https://scholar.google.co.uk/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=gLOAT_UAAAAJ&citation_for_view=gLOAT_UAAAAJ:u5HHmVD_uO8C
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jiménez, C., Cortés, J., León, A. and Ruiz, E. (2001). Coral bleaching and mortality associated with the 1997-98 El Niño in an upwelling environment in the eastern Pacific (Gulf of Papagayo, Costa Rica). Bull. Mar. Sci, 69, 151-169.
- Kleypas, J. A., Feely, R.A., Fabry, V.J., Langdon, C., Sabine, C.L., and Robbins, L.L. (2006). Impacts of Ocean Acidification on Coral Reefs and Other Marine Calcifiers: A Guide

- for Future Research, report of a workshop held 18–20 April 2005, St. Petersburg, FL, sponsored by NSF, NOAA, and the U.S. Geological Survey, 88. Recuperado de http://www.ucar.edu/communications/Final_acidification.pdf
- Kahrua, M., Marinoneb, S.G., Lluch-Cotac, S.E., Pares-Sierra, A. and Mitchell, G. (2004). Ocean-color variability in the Gulf of California: scales from days to ENSO. *Deep-Sea Research* 2 (51), 139–146. Recuperado de <http://usuario.cicese.mx/~marinone/publicaciones/pdfs/2004/34KAHRUETAL.PDF>
- Kirk, J. T. O. (1994). *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge University Press, London, 509.
- Hannah, L. (2010). *Climate Change Biology*. Elsevier. NY and London. 402 pp.
- Hernández de la Torre, B. y Gaxiola Castro, G. (2007). Introducción. En Hernández de la Torre, B. & Gaxiola-Castro, G. (Ed.), *Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México*. Instituto Nacional de Ecología. 11-28 p.
- Houghton, R. W., and Tourre, Y. M. (1992). Characteristics of low frequency sea surface temperature fluctuations in the tropical Atlantic, *J. Climate*, 5, 765-771.
- MCphaden, M. (2004). Evolution of the 2002/03 El Niño. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 85, 677–695.
- Magaña, V., y Caetano, E. (2007). Pronóstico climático estacional regionalizado para la República Mexicana como elemento para la reducción de riesgo, para la identificación de opciones de adaptación al cambio climático y para la alimentación del sistema: cambio climático por estado y por sector. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM. Dirección General de Investigación sobre Cambio climático Instituto Nacional de Ecología. México. 41 pp. Recuperado en <http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/e2007o.pdf>
- March, I. J., Cabral, H., Echeverría, Y., Bellot, M., y Frausto, J.M. (2011). Adaptación al Cambio Climático en Áreas Protegidas del Caribe de México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. México. Serie Estrategias de Adaptación al Cambio Climático en Áreas Protegidas de México. 1, 109 pp. Recuperado de <http://ebacomunity.com/en/knowledge-center/library/item/358-adaptacion-areas-protegidas-cambio-climatico>
- Monente, J., y Astor, Y. (1987). Observaciones hidrológicas superficiales de la región Noroccidental del Mar Caribe Venezolano. *Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*. XLVII (127-128), 125-148.
- Montecino, V., y Pizarro, G. (2006). Productividad primaria, biomasa y tamaño del fitoplancton en canales y fiordos australes: patrones primavera-verano. En Silva, N., & Palma, S. (Ed) *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas*, Puerto Montt a cabo de Hornos (pp. 93-97). Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso.
- Mopper, K. and Kieber, D.J. (2002). Photochemistry and the cycling of carbon, sulfur, nitrogen and phosphorous. En Hansell, D.A., & Carlson, C.A. (Ed.), *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter* (pp. 455–507). EEUU, California: Academic Press.
- Moran, M.A., and Zepp, R.G. (1997). Role of photoreactions in the formation of biologically labile compounds from dissolved organic matter. *Limnol. Oceanogr.* 42 (6), 1307–1316.
- Mumby, P., Flower, J., Chollett, I., Box, S. J., Bozec, Y., Fitzsimmons, C., Forster, J., Gill, D., Griffith-Mumby, R., Oxenford, H. A., Peterson, A. M., Stead, S.M., Turner, R. A., Townsley, P., H van Beukering, P.J., Booker, F., Brocke, H. J., Cabañillas-Terán, N.,

- Canty, S.J.W., Carricart-Ganivet, J. P., Charlery, J., Dryden, C., van Duyl, F.C., Enríquez, S., Den Haan, J., Iglesias-Prieto, R., Kennedy, E.V., Mahon, R., Mueller, B., Newman, S.P., Nugues, M.M, Cortés Núñez, J., Nurse, L., Osinga, R., Paris, C. B., Petersen, D., Polunin, N.V.C., Sánchez, C., Schep, S., Stevens, J. R., Vallès, H., Vermeij, M.J.A., Visser, P.M., Whittingham, E., and Williams, S.M. (2014) *Hacia la resiliencia del arrecife y medios de vida sustentables: Un manual para los administradores de arrecifes de coral del Caribe*. University of Exeter, Exeter. 172 pp.
- Muñoz, A.C., Fernández, W., Gutiérrez, J.A., y Zárata, E. (2002). Variación estacional del viento en Costa Rica y su relación con los regímenes de lluvia. *Top. Meteor. Oceanog*, 9, 1-13.
- Murillo, D.; Ortega, I.; Carrillo, J.; Pardo, A y Rendón. J. (2012). Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos. *J Ing. USBMed*. 3: 62-68
- Nelson, N.B., and Siegel, D.A. (2002). Chromophoric DOM in the open ocean. En Hansel, D.A., & Carlson, C.A. (Ed.), *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter* (pp. 547–578). EEUU, California: Academic Press.
- Nelson, N.B., Siegel, D.A., Carlson, C.A., and Swan, C.M. (2010). Tracing global biogeochemical cycles and meridional overturning circulation using chromophoric dissolved organic matter. *Geophys. Res. Lett*, 37 (3), L03610.
- Lara-Lara, J.R., Arenas F.V., Bazán G. C., Díaz C. V., Escobar B. E., García A. M., Gaxiola C. G., Robles J. G., Sosa Á. R., Soto G. L., Tapia G. M., Valdez-Holguín, E. 2008. Los ecosistemas marinos, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 135-159.
- López-Medellín, X., Ezcurra, E., González-Abraham, C., Hak, J., Santiago, L.S. and Sickman, J. O. (2011). Oceanographic anomalies and sealevel rise drive mangroves inland in the Pacific coast of Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 22, 143–151. Recuperado de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1654-1103.2010.01232.x/pdf>
- Orr, J. C., Victoria, J., Fabry, J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S., Feely, R., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R., Plattner, G., Rodgers, K., Sabine, C., Sarmiento, J., Schlitzer, R., Slater, R., Totterdell, J., Weirig, M., Yamanaka, Y., and Yool, A. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437,681-686.
- Orellana, R., Espadas, C., Conde, C., y Gay, C. (2009). *Atlas del Cambio climático en la Península de Yucatán*. Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán (CICY). Mérida, Yucatán. México. 111 p. Recuperado de <http://www.cicy.mx/libros-venta/atlas-escenarios-de-cambio-climatico-en-la-peninsula-de-yucatan>
- Pabón, J.D. (2003). El aumento del nivel del mar en las costas y área insular de Colombia. En Montañez G., Campos, N.H., Avella, F., & Polanía, J. (Ed). *El Mundo Marino de Colombia: Investigación y Desarrollo de Territorios Olvidados*. Universidad Nacional de Colombia, REMAR, 75-82.
- Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diaria. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 28 (107), 201-222, ISSN: 0370-3908. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/German_Poveda/publication/284691636_La_hidroclimatologia_de_Colombia_Una_sintesis_desde_la_escala_inter-decadal_hasta_la_escala_diurna/links/565f063908ae1ef92984676c.pdf

- Rivera, E. R., y Amador Astúa, J. A. (2009). Predicción estacional del clima en Centroamérica mediante la reducción de escala dinámica. Parte II: aplicación del modelo MM5V3. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 16 (1), 76-104 Recuperado de <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/12948>
- Riebesell, U., Zondervan, I., Rost, B., Tortell, P., Zeebe, R., and Morel, F. (2000). Reduced calcification of marine plankton in response to increased atmospheric CO₂. *NATURE*, 407, 364-367.
- Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), Instituto de Conservación Forestal (ICF), Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG). (2011). Análisis de Vacíos y Omisiones de Representatividad Ecológica de la Biodiversidad Marina de Honduras. Océanos, Costa e Islas. Honduras: TNC. 102 pp. Recuperado de <https://www.cbd.int/doc/meetings/mar/rwebsa-wcar-01/other/rwebsa-wcar-01-honduras-es.pdf>
- Signoret, M., Monreal-Gómez, M. A., Aldeco, J., and Salas-de-León, D.A. (2006). Hydrography, oxygen saturation, suspended particulate matter, and chlorophyll-a fluorescence in an oceanic region under freshwater influence. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 69 (1-2), 153-164.
- Swan, C. M., Siegel, D. A., Nelson, N. B., Carlson, C. A., and Nasir, E. (2009). Biogeochemical and hydrographic controls on chromophoric dissolved organic matter distribution in the Pacific Ocean. *Deep-Sea Res. I Oceanogr. Res. Pap.*, 56 (12), 2175-2192.
- Taylor, M., Enfield, D., and Chen, A. (2002). The influence of the tropical Atlantic vs. the tropical Pacific on Caribbean Rainfall. *J. Geophys. Res.*, 107(9): 3127, doi:10.1029/2001JC001097.
- Tester, P. A., Feldman, R. L., Nau, A. W., Kibler, S. R., and Litaker, R. W. (2010). Ciguatera fish poisoning and sea surface temperatures in the Caribbean Sea and the West Indies. *Toxicon*, 56(5), 698-710.
- Thuiller, W., Albert, C. H., Araújo, M. B., Berry, P. M., Cabeza, M., Guisan, G., Hickler, T., Midgley, G. F., Paterson, J., Schurr, F. M., Sykes, M. T., and Zimmermann, N. E. (2008). Predicting global change impacts on plant species distributions: future challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 9, 137-152.
- Villatoro, M., Henríquez, C., y Sancho, F. (2007). Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, CA, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense*, 32(1).
- Zeebe, R. E., Zachos, J. C., Caldeira, K., and Tyrrell, T. (2008). Oceans: Carbon emissions and acidification. *Science*, 321, 51-52. Recuperado de http://www.soest.hawaii.edu/oceanography/faculty/zeebe_files/Publications/ZeebeEtAlSci08.pdf

Capítulo III

Caracterización de la respuesta de las comunidades locales a la influencia directa de la variabilidad climática en el Caribe Sur de Costa Rica

Resumen

La variabilidad climática ha provocado impactos sobre los ecosistemas, incluso en los marinos y costeros, mismos sobre los que ocurren cambios en los recursos naturales y los paisajes que son empleados por las comunidades costeras para sustentar sus medios de vida. Estas comunidades tienen la posibilidad de adaptarse a estos cambios o bien, convertirse en migrantes climáticos. Este estudio se propuso evaluar los mecanismos de adaptación de las comunidades costeras del Caribe Sur de Costa a los impactos de la variabilidad climática sobre los ecosistemas marinos y costeros para la reducción de la vulnerabilidad de las mismas. Para lo cual se realizó una revisión bibliográfica, se aplicaron técnicas de observación no participante y encuestas, esta última se validó antes de su aplicación. Se realizaron 65 encuestas a pobladores locales de las comunidades de Manzanillo, Cahuita, Puerto Viejo, Gandoca y Limón con edad igual o superior a los 18 años. Las principales actividades económicas fueron la agricultura de subsistencia, pesca, turismo, comercio, recolección de cocos, entre otros. Los principales artes de pesca que se emplean son buceo a apnea o pulmón, caña de pescar con señuelos y anzuelos, nasas, líneas de palangre y trasmallo. Se identificó que ocurre influencia de la variabilidad climática sobre el elemento afectado. Entre las que se encuentra el aumento del nivel del mar que ha afectado la infraestructura como casas, carreteras, puentes, tuberías. Asimismo, el aumento de la temperatura atmosférica ha impactado la distribución de las especies de peces, favoreciendo las especies exóticas, entre otros. Pero las comunidades locales se han adaptado a las nuevas condiciones, a pesar de no contar con un plan gubernamental. Entre las acciones implementadas se encuentran la diversificación del voluntariado, traslado de infraestructura, agricultura orgánica, pesca como actividad económica complementaria, reforestación de la línea costera etc. Se concluye que las comunidades del Caribe Sur se han adaptado a las diversas condiciones que la variabilidad climática les ha presentado, pero ha sido desplanificado por lo que requiere ser atendido con urgencia por las autoridades a fin de definir las acciones a futuro.

Palabras claves: Caribe Sur, Costa Rica, comunidades humanas, adaptación, la variabilidad climática

Characterization of the response of local communities to the direct effects of climate variability on the South Caribbean coast of Costa Rica

Abstract

Climate variability has had impacts on ecosystems, including coastal seamen. Where changes occur in the natural resources and landscapes that are employed by coastal communities to sustain their livelihoods. These communities have the possibility to adapt to these changes or to become climate migrants. This study aimed to evaluate the adaptation mechanisms of the coastal communities of the South Coast Caribbean to the impacts of climate variability on marine and coastal ecosystems to reduce their vulnerability. For which a bibliographic review was carried out, techniques of non-participant observation and surveys were applied, the latter being validated before its application. A total of 65 surveys were carried out on local residents of the communities of Manzanillo, Cahuita, Puerto Viejo, Gandoca and Limón aged 18 or over. The main economic activities were subsistence agriculture, fishing, tourism, trade, coconut harvesting, among others. The main fishing gear used is snorkeling to apnea or lung, fishing pole with lures and hooks, pots, long line fishing and nylon fishing net. Effects of climate variability and the affected element were identified. Among them is the rise in sea level that has affected infrastructure such as houses, roads, bridges, pipelines. Likewise, the increase in atmospheric temperature has impacted the distribution of fish species, favored exotic species, among others. But local communities have adapted to the new conditions, despite not having a government plan. Among the actions implemented are the diversification of volunteering, infrastructure transfer, organic agriculture, fishing as complementary economic activity, reforestation of the coastline etc. It is concluded that the communities of the South Caribbean have adapted to the various conditions that climate variability has presented to them, but it has been deployed, which requires urgent attention by the authorities in order to define future actions.

Key words: South Caribbean, Costa Rica, human communities, adaptation, climate change

Introducción

La variabilidad climática es un fenómeno sobre el cual se han pronosticado diversos efectos e influencias en la biosfera y, entre los relevantes se encuentran los que incidirán sobre los ecosistemas naturales y especialmente, los marinos y costeros (Rojas, 2003; Anadón, Duarte y Fariña 2005; Carballo, Bautista-Guerrero, Nava y Cruz-Barraza, 2010; Yáñez-Arancibia, Twilley y Lara-Domínguez, 2016).

Entre los cambios que se esperan en la zona marina se encuentran la reducción de la productividad primaria, los cambios en la distribución del plancton (fito y zooplancton) y hasta de los vertebrados mayores, así como de las redes tróficas, mortalidad de organismos por cambios en la temperatura y modificaciones de las características físicas y químicas de las masas de agua. También, se espera mayor virulencia de parásitos y un mayor impacto sobre las poblaciones nativas debido a la presencia de las especies invasoras (De la Rosa y Zazo, 2005; Sharp, 2005).

Por su parte, en la zona costera se presentarán cambios importantes entre los que destaca la erosión de la línea de costa, cambios en la ubicación de la línea de costa, cambios en la vegetación costera, salinización de los cuerpos de agua, pérdida de infraestructura que se construyó en la zona marítima, entre otros (Felicísimo, Muñoz, Mateo y Villalba, 2012; Hernández, Ortiz, Méndez y Gama, 2008; Yáñez-Arancibia, Twilley y Lara-Domínguez, 2016).

Los impactos de la variabilidad climática pueden tener consecuencias especialmente graves, entre otras, en lo referente a la disminución de los recursos hídricos y la regresión de la costa, pérdidas de la diversidad biológica y ecosistemas naturales, aumentos en los procesos de erosión del suelo y pérdidas de vidas y bienes derivadas de la intensificación de sucesos adversos asociados a fenómenos climáticos extremos, tales como inundaciones, incendios forestales y olas de calor (Peñuelas, Sabaté, Filella y Gracia, 2004; Costa, 2007; IPCC, 2007; Conde-Álvarez y Saldaña-Zorrilla, 2007).

Tales cambios también pueden afectar los asentamientos humanos quienes son usuarios directos e indirectos de los recursos naturales. Y que se convierten en actores particularmente importantes, debido a la rapidez con la que han ocurrido los cambios y a

los daños que provocan en los bienes y servicios que se prestan en los litorales (Altieri y Nicholls, 2008; Barton, 2009; Sepúlveda y Ibrahim, 2013). Actualmente, el número de habitantes y comunidades costeras está en aumento. En algunos casos, son centros económicos importantes donde se desarrollan actividades manufactureras, pesqueras, turísticas, petroleras y de prestación de servicios que desempeñan un rol productivo, comercial y de servicios relevante (Aguilar, 2000).

En ese sentido, estas actividades son el sustento económico de las familias que habitan en las zonas costeras. La creciente influencia de los cambios provocados por la variabilidad climática pone en riesgo la seguridad alimentaria de estas personas. Y la vulnerabilidad aumenta a medida que aumenta la densidad poblacional, se modifican los cuerpos de agua, se deforesta, se contamina, se sobrepasa la capacidad de carga del planeta, aumentan los gases de efecto invernadero, entre otros (Sharp, 2005; Conde-Álvarez y Saldaña-Zorrilla, 2007).

A pesar de estas presiones, las comunidades costeras se han enfrentado a las cambiantes condiciones que se han desarrollado desde hace varias décadas. Este fenómeno se conoce como resiliencia al clima, concepto que se ha desarrollado por la urgente necesidad de generar capacidades locales para enfrentar la variabilidad climática (Barton, 2009).

La resiliencia es concebida por diversos autores de distintas formas y con diversos niveles de profundidad. Estas visiones se han convertido en una limitación para el análisis holístico de los efectos e influencias de la variabilidad climática ya que se ha propuesto desde la perspectiva misma de los sistemas sociales hasta la de los sistemas biológicos o ecológicos. En el segundo grupo, por ejemplo, se entiende como la mejora del sistema o de su capacidad para enfrentarse a los términos impulsores (Costa 2007). De igual forma, se ha asociado con la capacidad de un ecosistema para tolerar un grado de alteración sin colapsar determinándose un estado cualitativo diferente que, a su vez, resulta controlado por un conjunto diferente de procesos (Resilience Alliance, 2002).

En tanto que Byg y Salick, (2009) lo han propuesto como la capacidad de respuestas de comunidades y actores a nivel local. Por su parte, Walker, Carpenter, Anderies et al. (2002) proponen que la resiliencia es el potencial de un sistema para permanecer en una

configuración particular y para mantener sus evaluaciones y la función, y consiste en la capacidad del sistema para volver a organizar, tras la perturbación impulsada por el cambio. Pero debe considerarse que en ocasiones se confunde con adaptación. Para fines de este documento estaremos empleando la definición propuesta por Walker et al. (2002).

Esta capacidad de organizarse para enfrentar las nuevas condiciones ha sido el motor que permite redireccionar parte de los esfuerzos globales, así como los fondos hacia la atención de la vulnerabilidad, incrementando la resiliencia y capacidad adaptativa de la población y los sistemas productivos frente a la variabilidad climática.

Una herramienta para favorecer la resiliencia es el ordenamiento y la planificación territorial que contribuye a reducir los riesgos y, a la vez, promueve el bienestar ambiental y social; siendo un proceso que facilita la minimización de la vulnerabilidad y la identificación de las formas de maximizar oportunidades (Lira, 2006) que requieren de la integración de los componentes del sistema socioecológico que permitan la satisfacción de necesidades, la generación de capacidades de adaptación y los límites del sistema (Gallopín, 2003).

Sin embargo, en términos generales, las instituciones de gestión ambiental, pesquera y agrícola tienen una limitada capacidad humana, financiera y técnica para ser eficaces en la implementación de medidas dirigidas a aumentar la resiliencia frente a la variabilidad y a la variabilidad climática, lo cual ocurre en otras áreas de la región centroamericana (African and Latino American Resilience to Climate Change Project ARCC, 2014). Además, las instituciones locales en la región han emprendido tímidas acciones que son la respuesta a la forma en que se identifican las vulnerabilidades.

En esta misma línea, IPCC (2013) asume que la vulnerabilidad frente al impacto de la variabilidad climática es una función de la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación de los sistemas. Por lo tanto, podemos entender que este fenómeno considerado antropocéntrico genera procesos resilientes en los sistemas socioecológicos, reconociendo la interacción e interdependencia de los seres humanos y la naturaleza, y de la forma en que los primeros dependen de los servicios ecosistémicos para lograr sus medios de vida.

A su vez, se ha generado dos corrientes de pensamiento en términos de resiliencia y adaptación. La primera es la adaptación basada en ecosistemas y la segunda, la basada en comunidades. Este último, es el enfoque de análisis que se empleará en este documento.

La adaptación basada en comunidades es un proceso liderado por las comunidades humanas donde se consideran sus prioridades, necesidades y capacidades para que se empoderen para enfrentar los impactos de la variabilidad climática. Dicho enfoque se generó como consecuencia de que las poblaciones vulnerables a la pobreza, a las enfermedades, a la discriminación, etc., también son vulnerables a la influencia de la variabilidad climática (Huq y Reid 2007).

Se ha desarrollado discusión sobre lo que se entiende por adaptación a la variabilidad climática y en algunos casos, se propone que es un asunto de infraestructura y/o técnico. Sin embargo, la creación de capacidades que permitan el uso y manejo de esa infraestructura y técnicas es fundamental para alcanzar el éxito (Conde et al. 2006).

El presente estudio pretendió evaluar los mecanismos de adaptación de las comunidades costeras del Caribe Sur de Costa a los impactos de la variabilidad climática sobre los ecosistemas marinos y costeros para la reducción de la vulnerabilidad de las mismas.

Materiales y métodos

Se realizó la recopilación y sistematización de impactos de la variabilidad climática sobre los ecosistemas marinos y costeros a partir de los criterios de adaptación basada en comunidades. La cual se realizó mediante revisión bibliográfica para la cual se consultó las bases de datos digitales de Academic Search Complete, Annual Reviews, Biological Abstracts, Current Contents, Environment, y buscadores de internet. Se utilizaron palabras claves como ecosistemas marinos, ecosistemas costeros, aumento del nivel del mar, cambio climático, variabilidad climática adaptación, mitigación con el operador booleano “y”; en español como en inglés.

Se utilizaron técnicas de observación no participante y encuestas según la metodología descrita por Aguilar y Castañeda (2000) para realizar un diagnóstico del uso de los recursos naturales en los ecosistemas marinos y costeros de interés, de los beneficios

que reciben de estos espacios naturales, los impactos que perciben asociados a la variabilidad climática y los mecanismos que han desarrollado para enfrentar dichos cambios.

La observación no participante realizada de forma grupal que se aplica cuando no se dispone de la confianza suficiente para participar en los eventos. Las observaciones y notas se realizaron como observador sin intervenir de la actividad analizada y se realizó durante la realización de reuniones comunales y en actividades normales de los miembros de las comunidades (Creswell, 2005). Se actúa como observador completo que implica que no se entabla ninguna interacción.

Se aplicó un instrumento o cuestionario que constó de 15 preguntas para recoger información concreta sobre las actividades socioeconómicas que desarrollan y las acciones o cambios que desarrollan en relación con la variabilidad climática y su influencia en el área (Anexo 12) y que se encontraba dirigida a una muestra de la población. Esta encuesta fue descriptiva de manera que permitirá identificar las condiciones presentes en un espacio y tiempo determinado.

Se realizó la validación del contenido del cuestionario que se entendió como el grado en que su aplicación representa de forma adecuada lo que se propone valorar (Thomas y Nelson, 2007). Para alcanzar niveles óptimos de validez de contenido se utilizó la técnica de aplicación del instrumento fuera del área de estudio. Para conocer la validez del contenido desde la perspectiva de la comprensión de los sujetos objetos de estudio y la fiabilidad se utilizó una matriz de cotejo que evaluó la pregunta, el motivo de confusión y el modo de respuesta (Anexo 13).

Se aplicó a 15 personas en la localidad de Piuta en Limón, las cuales se seleccionaron al azar. Se valoró el grado en el que los entrevistados comprendían las preguntas del cuestionario analizando los siguientes aspectos: Grado de comprensión del cuestionario mediante el registro de las preguntas, dudas y comentarios que hicieron sobre el instrumento durante la aplicación del mismo. Así como los ítems que no fueron entendidos en la primera lectura. Con esa información se realizó las adaptaciones necesarias al instrumento.

Mismo que constó de una breve introducción, donde se explica el objeto de estudio y se indica la confidencialidad de las respuestas al instrumento. Seguido de un grupo de

ítems sobre datos sociodemográficos como la edad, sexo, actividad económica que realiza, estudios, etc. seguidos de preguntas sobre el estado de los ecosistemas, del manejo, problemas comunales, etc.

De estas preguntas, 11 eran cerradas de marque con X, la mayoría con dos opciones de respuesta, pero también había con varias opciones. Y se determinó la frecuencia de aparición de determinadas respuestas a partir de las categorías preestablecidas.

Con la información copilada se realizó un inventario de los principales usos productivos que realizan los locales y de los principales recursos naturales que son empleados para desarrollar tales actividades. Se confeccionó una taxonomía de usos de la zona costera en cuestión y se elaboraron las matrices de usos en relación con los recursos acorde con la metodología de Vallega (1999).

Se propone un modelo conceptual de como enfrentan las comunidades costeras del Caribe Sur de Costa Rica, los retos que les impone la variabilidad climática.

Resultados

Se realizaron 65 encuestas a locales de la zona, donde 49% fueron mujeres y el restante, fueron hombres. Con edades entre los 18 años en adelante. Se realizaron tres reuniones con actores claves en las localidades de Manzanillo, Cahuita, Puerto Viejo, Gandoca y Limón. El 32% de los entrevistados eran proveedores únicos del núcleo familiar pero lo frecuente es que fuera combinado con hijos, conyugue, compañeros sentimentales, primos o tíos. La mayoría de los entrevistados han concluido la secundaria (67%) y han logrado una carrera técnica (53%) principalmente en el INA y el CUN Limón.

Las principales actividades económicas de la zona costera fueron la agricultura de subsistencia con dominancia del cultivo de plátanos, banano, yuca y ñame. Aunque en el área, hay empresas transnacionales de cultivos intensivos de banano, estos no alcanzan la franja costera.

También, se desarrolla la pesca artesanal comercial con énfasis en cambute (*Strombus gigas*), langosta (*Panulirus argus*), róbalo, calva, pargos (*Lutjanus* sp), tiburones, macarela, kingfish y algunos camarones peneidos. Siendo está un pequeña pesquería multiespecífica (Cuadro 11). Destaca la actividad turística que puede contribuir

de forma directa o indirecta a la economía familiar y en la que se puede emplear parte de los equipos que se emplean para la pesca.

Cuadro 11. Principales especies de interés económico pesquero en el Caribe Sur reportadas por los usuarios en el Caribe Sur.

Familia	Especie	Nombre común
Centropomidae	*	Robalos
Scorpaenidae **	<i>Pterois volitans/miles*</i>	Pez león
		Tiburones
Scombridae	<i>Scomber scombrus</i>	Macarela
Scombridae	<i>Scomberomorus cavalla</i>	Kingfish
Palinuridae	<i>Panulirus argus</i>	Langosta espinosa
Lutjanidae	*	Pargos
Centropomidae	*	Robalo pequeño
Sphyraemidae	<i>Sphyraena barracuda</i>	Picuda
Bothidae	<i>Trichopsetta caribbea</i>	Lenguado
Sciaenidae	*	Corvina
Serranidae	<i>Epinephelus striatus</i>	Mero
Serranidae	<i>Epinephelus guttatus</i>	Cabrilla
Coryphaenidae	<i>Coryphaena hippurus</i>	Dorado
Istiophoridae	<i>Kajikia albidus</i>	Marlin blanco
Scombridae	<i>Thunnus sp.</i>	Atún
Penaeidae	<i>Farfantepenaeus notialis</i>	Camarón Rosado
Penaeidae	<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	Camarón tití
Mugilidae	<i>Mugil curema</i>	Lisa
Belonidae	<i>Ablennes hians</i>	Pez aguja

* Se incluyen varias especies que con la información obtenida no se puede determinar a nivel de género y especie

Los principales artes de pesca empleados son buceo a apnea o pulmón, caña de pescar con señuelos y anzuelos. Éstos se emplean para el aprovechamiento costero de las pesquerías como la langosta, misma que se realiza en las zonas someras empleando botes y motores, o bien, ingresando con equipo básico de buceo como patas de rana, careta y snorkel desde la costa. De igual forma, lanzan la cuerda y la caña desde la playa, las desembocaduras de los ríos, áreas rocosas costeras, principalmente.

Para la pesca que ocurre alejada de la costa, sin que sea aguas profundas, se emplean líneas palangreras, pequeñas redes de arrastre y nasas empleando botes o pangas elaborados con fibra de vidrio, de 8 m de eslora aproximadamente e impulsados por uno o dos motores fuera de borda.

La pesca costera es desarrollada principalmente por hombres adultos y jóvenes, alcanzando hasta el 75 % de la frecuencia. También participan niños de ambos géneros con

un 15 % de representación y un 10% corresponde a mujeres. En el caso de niños y las mujeres corresponde a una actividad recreativa (88%), aporte de proteína por pesquería de subsistencia (12%) y el resto como fuente de ingresos al grupo familiar. En el caso de los hombres adultos y jóvenes, la mayor parte de los usuarios (89, 6%) realizan la actividad como fuente de ingresos al grupo familiar.

Una parte del producto se consume en la familia como la fuente principal de proteína (38%). Una pequeña porción se vende en la carretera con un manejo inseguro de la calidad sanitaria (12%) y el resto se lleva al mercado local y nacional mediante venta directa o intermediarios. Los recibidores de pescado o centros de acopio son escasos en la zona.

La actividad turística se aborda desde diversos frentes, algunas personas se dedican al transporte marítimo para trasladar turistas a sitios de pesca deportiva, a arrecifes coralinos, a playas, como principales destinos. Otros incluyen, el trabajo como guías turísticos de buceo apnea o pulmón y/o autónomo. Algunos de los guías tienen el curso del INA en tanto que otros son empíricos.

Otros realizan recorridos guiados por senderos terrestres principalmente en el PN Cahuita y el REGAMA. Algunos son guías locales certificados, principalmente en el PN Cahuita pero la mayoría no cuenta con esto. A esto se suma, la industria del alojamiento a baja escala y la gastronómica. El máximo desarrollo local de estas actividades ocurre en las localidades Puerto Viejo, Cahuita y Manzanillo.

De menor importancia se encuentra el comercio con pequeños supermercados, bazares, tiendas de recuerdos o souvenirs, ropa y electrodomésticos. Los comercios grandes y surtidos se ubican en Puerto Viejo y la ciudad de Limón.

La recolección de cocos para producir aceite de coco y comercializarlo, es también una actividad importante. Los habitantes han cultivado esta palma en la zona marítima terrestre donde no se encuentran limitados para recolectar este fruto. La misma está asociada a la extracción del aceite de coco crudo o cocido que es empacado en envases plásticos reutilizados. Esta es una actividad económica informal que provee de efectivo a los locales de forma ocasional producto de la venta en las márgenes de la calle o bien, a intermediarios que vienen desde San José u otras localidades.

Los usos que las comunidades y visitantes realizan de los ecosistemas analizados permiten diferenciar entre el uso de los recursos vivos y los inertes que pueden ser de carácter extractivo o no extractivo. Se destacan en el uso de recursos vivos extractivos de la pesca de diversas especies en las modalidades planteadas (29 %), la agricultura comercial familiar y comercial intensiva (52%), comercio (10%) y subsistencia (8%). También, se está retomando el cultivo del cacao, con un enfoque orgánico (1%).

Mientras que los recursos naturales vivos que se aprovechan como actividades no extractivas domina el turismo tanto en la parte marina como en la parte terrestre. La flora y fauna terrestre y marina son recursos cada vez más empleados y que aportan a la economía local (Cuadro 12).

Cuadro 12. Principales usos por localidad en el Caribe Sur.

Localidad	Usos	Ecosistema	Comunidad
Isla Uvita	-Buceo a pulmón -Buceo autónomo -Pesca para acuarios -Pesca autoconsumo -Transporte acuático	Arrecifes coralinos	Limonenses Turistas nacionales Turistas extranjeros
Cahuita	-Buceo a pulmón -Buceo autónomo -Pesca autoconsumo -Pesca de langostas -Buceo a pulmón -Buceo autónomo -Turismo -Preservación -Aceite de coco -Transporte acuático	Arrecife coralinos Pastos Playa Manglar	Limonenses Turistas nacionales Turistas extranjeros SINAC
Puerto Viejo	-Buceo a pulmón -Buceo autónomo -Pesca para acuarios -Pesca autoconsumo -Buceo a pulmón -Buceo autónomo -Turismo -Comercio -Pesca autoconsumo -Transporte acuático	Arrecife Pastos Playa	Limonenses Turistas nacionales Turistas extranjeros
Manzanillo	-Buceo a pulmón -Buceo autónomo	Arrecife Pastos	Limonenses Turistas nacionales

	-Pesca para acuarios	Playa	Turistas extranjeros
	-Pesca autoconsumo		SINAC
	-Buceo a pulmón		
	-Buceo autónomo		
	-Turismo		
	-Comercio		
	-Pesca autoconsumo		
	-Conservación		
	-Transporte acuático		
	-Comercio		
	-Aceite de coco		
Gandoca	-Buceo a pulmón	Arrecife	Limonenses
	-Buceo autónomo	Playa	Turistas nacionales
	-Pesca autoconsumo	Manglar	Turistas extranjeros
	-Turismo		Voluntarios
	-Voluntariado		
	-Turismo		
	-Transporte		
	-Pesca subsistencia		

Por otra parte, los poblados analizados, exceptuando la zona urbana de la ciudad de Puerto Limón, se caracterizan por ser asentamientos de tipología rural, próximos a la línea de costa o limitando con la playa. No presentan sistemas de alcantarillado sanitario, por lo que desechos líquidos domésticos y el escurrimiento terrestre llega sin tratamiento al mar.

Otra característica de la zona es la presencia de infraestructura ubicada en la zona marítima terrestre, la cual está limitada en la Ley de este mismo nombre con número 4063. Entre las infraestructuras que se pueden observar están la carretera de la ruta 36 que se mantiene paralela a la costa. Asimismo, se identifican viviendas instaladas en esta zona (Fig. 22).

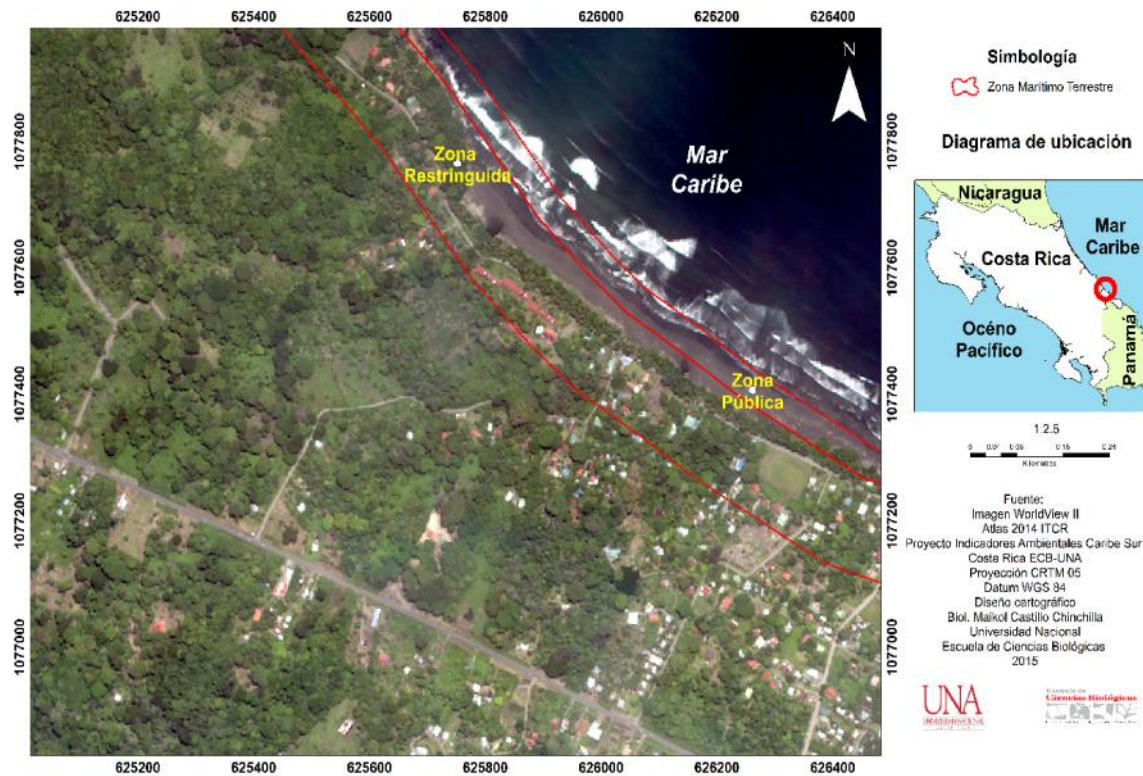


Figura 22. Ubicación de infraestructura en la zona pública y restringida de la zona marítima terrestre.

Por ejemplo, la caracterización de la franja costera entre el río Vizcaya y el Estero Negro mostró que este sector posee una longitud de 7.5 km línea de costa con un total de 25 casas de habitación dentro de la Zona Marítima Terrestre. Se pudo observar unidades habitacionales tanto en la zona pública como en la restringida.

Las comunidades locales identifican una serie de cambios en los ambientes marinos y costeros que impactan las actividades que realizan, así como la calidad de vida. Tales modificaciones las asocian con efectos e influencias provocados por la variabilidad climática. Se identificaron cuatro efectos percibidos por los locales.

El primero fue el aumento sobre el nivel del mar, al que le asociaron nueve acciones de impacto y que se agruparon en nueve grupos de impactos. El segundo efecto fue el aumento de la temperatura atmosférica con doce acciones y agrupadas en 11 impactos. El tercer fue el aumento de la temperatura superficial del mar donde propusieron 4 acciones que se pueden agrupar en 6 impactos posibles. En tanto, que el último fue aumento del CO₂ al que se le asoció una única acción y un único impacto (Cuadro 13).

Cuadro 13. Principales impactos percibidos por las comunidades locales en el Caribe Sur en relación con la variabilidad climática

Efecto	Acción	Impacto
Aumento del nivel del mar	Rompe la tubería	Suministro de agua potable
	Daños a caminos	Libre tránsito
	Daños a casas	Vivienda digna
	Intrusión de agua salada	Aguas subterráneas
	Pérdida cultivos de subsistencia	Seguridad alimentaria
	Playas de menor calidad	Turismo y recreación
	Abandono de viviendas	Desplazamiento de comunidades
	Invertir en reparar calles y caminos ubicados en la cercanía de la costa	Comunicación terrestre
	Cambio en la vegetación de los pantanos cercanos a la costa	Biodiversidad
	Aumento de la temperatura atmosférica	Uso de ventiladores
Reducción de la abundancia de peces		Seguridad alimentaria
Regar jardines y cultivos		Consumo de agua
Casas más calientes		Bienestar humano
Aumento de las poblaciones de zancudos		Riesgo de enfermedades por vectores
Inundaciones por agua marina		Pérdida de infraestructura
		Pérdida de fincas
Aumento de tormentas, vientos fuertes y hasta huracanes		Pérdida de infraestructura
		Pérdida de vegetación
Aparición de especies introducidas		Riesgo a la vida humana
		Seguridad alimentaria
Cambios en la productividad agrícola		Seguridad alimentaria
Aumento de enfermedades por el esfuerzo realizado		Salud pública
Necesidad de emplear bloqueador solar	Salud pública	
Más zancudos con peligro de enfermedades como dengue, paludismo, fiebre amarilla	Salud pública	

Aumento de la temperatura superficial del mar	Aumento de tormentas, vientos fuertes y hasta huracanes Reducción de la abundancia de peces Cambio en las especies de peces presentes Más biofouling adherido a las lanchas	Pérdida de infraestructura Pérdida de vegetación Riesgo a la vida humana Seguridad alimentaria Impacto en la biodiversidad Reducción vida útil de los equipos
Aumento del CO ₂	Reduce la producción de alimentos	Seguridad alimentaria

Ante los inminentes cambios observados por las comunidades locales les ha impulsado a proponer y desarrollar soluciones que les permitan mantenerse viviendo en la zona y sustentar sus necesidades básicas. Estas respuestas contribuyen a reducir los desplazados por la variabilidad climática por la capacidad de resiliencia que tienen los locales. Estas respuestas locales atendieron seis amenazas mediante 16 soluciones (Cuadro 14).

Cuadro 14. Soluciones propuestas para mitigar los posibles impactos de la variabilidad climática sobre las comunidades locales

Amenazas	Soluciones
Cambio en la precipitación, temperatura y corrientes marinas	-Pesca suplementaria a actividades económicas -Agricultura orgánica: cacao, yuca, ñame, guanábana -Agricultura extensiva: banano, plátano, yuca
Erosión costera	-Voluntariado diversificado: trabajo con escuelas y colegios, en las fincas, en actividades de patrullaje, etc.
Pérdida infraestructura costera	-Traslado de infraestructura a zonas alejadas de la costa -Reforestación de la línea costera para proteger calles, caminos y carreteras
Reducción de voluntarios para la observación de tortugas	-Protección a pantanos y bosques inundados de yolillo -Reubicación de pobladores costeros por el riesgo asociado y la disminución de oportunidades laborales -Voluntarios participando en actividades complementarias como educación ambiental en escuela y colegios, trabajo en fincas orgánicas, patrullaje en áreas protegidas, etc. -El desarrollo de programas de gestión local con la participación de los grupos locales

	-incorporación de costumbres y tradiciones en la oferta turística
Especies invasoras	-Desarrollo un protocolo para atender las amenazas del pez león. -Desarrollan programas educativos y de sensibilización local para informar sobre la amenaza del pez león y su impacto sobre la biodiversidad -Desarrollo de artes de pesca locales (nasas y arpones) -Comercialización de peces
Fijación de carbono	-Algunas fincas están adscritas al pago de servicios ambientales por protección de bosques

Discusión

En algunas comunidades locales que han sido pescadores como actividad alternativa o suplementaria de una actividad económica principal han detectado una disminución en el acceso al recurso pesquero se han abocado a la introducción de otras de actividad productiva como la agricultura orgánica que les permite obtener un producto comercializable con valor agregado y el acceso a turistas y voluntarios.

Han identificado que se presenta una disminución de la calidad de las playas de anidación de tortugas. La misma afecta la observación de este grupo que durante años permitió el turismo y la actividad de voluntariado. Esto los impulso a la ampliación de ofertas turísticas.

La ampliación de esta actividad ha incluido dentro de los recursos turísticos desarrollados el trabajo con en educación ambiental en las escuelas y colegios, la mejora de infraestructura comunitaria como EBAIS, salones comunales y caminos. La incorporación del trabajo de los voluntarios en las fincas orgánicas que le ofrece una experiencia diferente, la participación en patrullaje de otros recursos diferentes a las tortugas en las áreas protegidas, la incorporación de costumbres y tradiciones que fomenten el interés del visitante del Caribe les ha permitido tener la condición de micro y mediana empresa.

Desde el 2009, se reportó la invasión del pez león en el área de estudio. Esta especie se considera una amenaza porque impactan las poblaciones de peces como depredadores topes y producen impactos negativos sobre los arrecifes de coral. El impacto se produce

inicialmente al nivel ecológico y posteriormente, a nivel económico debido a que limita la oferta turística y la pesca.

Para revertir estos procesos, las organizaciones pesqueras locales han desarrollado proyectos para pescarlo en nasas, han desarrollado protocolos para el manejo del pez león (Espinoza y Grandas, 2015), campañas educativas, torneos de pesca, entre otros.

Bajo este marco de acción, Beita y Sandoval (2011) proponen que la dinámica económica de Cahuita se fundamente en un mosaico de usos, que cambian constantemente basado en la disponibilidad y las presiones que se reciban del entorno. Por tanto, las medidas de adaptación basada en las comunidades es una dinámica social de la región que ha permitido que los pobladores se mantengan en el largo plazo.

La población reconoce los beneficios aportados por este modelo económico sustentado en diferentes fuentes de trabajo, ya que logran el mejoramiento del bienestar humano de los habitantes que les permite lograr ingresos para suplir necesidades básicas, el acceso a proteína de diversos orígenes, de la oportunidad de participar en actividades de educación ambiental y el apoyo a los servicios básicos, el contacto con personas de diversas latitudes y la posibilidad de aprender un segundo idioma. Estas condiciones fueron similares a las reportadas por Beita y Sandoval (2011).

Estos efectos asociados con la variabilidad climática pueden acentuarse cuando la percepción de los visitantes (turistas o voluntarios) se asocia con afectación de los ingresos por concepto de actividad turística y de la imagen conservacionista del país.

Las comunidades del Caribe Sur han sufrido cambios en los sistemas naturales en los que desarrollan sus actividades. En algunos casos, los pobladores han enfrentado estos cambios desde el manejo y de sus experiencias de vida. Y con menor frecuencia con apoyo de las instituciones gubernamentales y no gubernamentales. Incluso Mora (2014, pag 1) establece que “las comunidades conocen mejor las vulnerabilidades y riesgos presentes a nivel local podrán gestionar con mejores resultados su territorio, descentralizando las acciones marino costeras frente al fenómeno climático”.

Por lo cual, las políticas de adaptación se hacen necesarias debido a los pronósticos de incrementos de temperatura entre 1,5 y 4,5°C para el año 2100 (IPCC, 2013). Las experiencias, las políticas y la investigación sobre adaptación a la variabilidad climática se han acrecentado en los últimos años (Dirección de Cambio Climático Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Republica de Colombia, 2013). El impulso de líneas estratégicas como la adaptación basada en tecnologías e infraestructura, la adaptación basada en ecosistemas y la adaptación basada en comunidades han contribuido a enfrentar los efectos e influencias de la variabilidad climática.

Algunas de estas estrategias se han desarrollado de forma espontánea por las comunidades y en la actualidad, permiten facilitar la comunicación y el intercambio de información entre actores. La adaptación basada en comunidades muestra un enfoque reciente en cuanto a sus conceptos y metodologías (Dirección de Cambio Climático Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Republica de Colombia, 2013).

Las comunidades locales han mostrado basta capacidad para resolver los problemas incipientes en relación con la influencia de la variabilidad climática. Pero las instituciones gubernamentales y no gubernamentales deben aportar a estos procesos para planificar y facilitar la adaptación en el mediano y largo plazo y con una visión holística de la relación ecosistema-comunidades que incorpore los tres ejes del desarrollo sostenible: ambiental, social y económico.

Sin embargo, Aragón, Colque y Rosales, (2012) señalan que son insuficientes los programas y proyectos enfocados a estrategias locales de adaptación a la variabilidad climática lo que incide en una limitada acción regional.

Aunque existen diversos casos en el mundo de comunidades desplazadas como producto de la variabilidad climática (Castles, 2003; Brown, 2008; Gemenne y Reuchlin, 2008) mejor conocidos como desplazados climáticos (Romer, 2006). La situación de las comunidades analizadas no ha alcanzado esta condición debido a que han mostrado resiliencia a estas condiciones. Sin embargo, las condiciones aumentan la intensidad podrían convertirse en desplazados.

Por tanto, es fundamental que se genere investigación sobre las tendencias de estos impactos. De forma tal que si fuese necesaria la migración esta pueda ser planificada y no forzada (Jiménez y Suescún, 2011). Este tipo de migraciones ofrece la posibilidad de planificar, de considerar los impactos de la zona, de organizar con tiempo suficiente el traslado de forma tal que se reduzca la vulnerabilidad de las personas (Herrera 2006). Pero requiere de información para la toma de decisiones.

Esta planificación debe darse entendiendo que la variabilidad climática es un fenómeno complejo y que se comporta de diversas formas dependiendo de la latitud donde se analice. Por eso no es posible generar un modelo o estrategia única, sino que debe partirse de la planificación desde lo local siendo que considere aspectos sociales, culturales, económicos y que dependerá de las características de la zona, de la sociedad y de la importancia medioambiental según lo plantea el Informe sobre Cambio Medioambiental y Migración Forzada (Jiménez y Suescún 2011).

A pesar que el IPCC (2007, 2013) plantea la acidificación del mar, los locales del área de estudio no reportan ningún cambio asociado a este impacto. Probablemente porque los sistemas productivos locales no dependen de los moluscos que en otras localidades costeras siendo imperceptible para ellos. Pero se ha presentado evidencia experimental (Orr, et al 2005) de que los corales y el plancton podrían presentar problemas para mantener sus esqueletos externos que están constituidos principalmente de carbonato de calcio lo que afectaría la cadena trófica y por ende, la seguridad alimentaria de las comunidades locales que emplean la proteína de los organismos marinos para suplir las necesidades básicas.

De igual forma, Hoegh-Guldberg, et al (2007) plantean que las comunidades de arrecifes serán menos diversas y las estructuras arrecifales contendrán menos carbonato por la dificultad de incorporarlo. El fenómeno de la simplificación de las comunidades coralinas ha sido reportado en Cuba por Alcolado et al (2010), que impacta la calidad de los ecosistemas, pero también las economías locales costeras que han apostado a la actividad turística de buceo con snorkeling y autónomo. Este impacto podría incidir en la economía local a futuro.

En ese sentido es fundamental el incremento de la colaboración entre el Sistema Nacional de Áreas de Conservación, específicamente el Área de Conservación La Amistad Caribe, las Universidades, los Colegios Universitarios, el Instituto Costarricense de Turismo, el Instituto Mixto de Ayuda Social, entre otros. Las comunidades rurales y urbanas de diversos orígenes y costumbres que habitan en la zona y las organizaciones no gubernamentales que trabajan en la zona.

Los principales esfuerzos que deben realizarse están concentrados en la capacitación sobre el tema de la variabilidad climática, su influencia sobre las comunidades humanas y de los ecosistemas, como reducir desde nuestras casas y actividades económicas las emisiones de gases con efecto invernadero, etc.

Otro aspecto relevante es el fortalecimiento en términos del cumplimiento de las normas legales vigentes como de la ley de la Zona Marítima Terrestre, el mantenimiento de las zonas de protección de cuerpos de agua donde se incluyen ríos y nacientes; las normas relacionadas con el uso y aplicación y agroquímicos, entre otros.

El análisis y aplicación de los caudales ecológicos de forma dinámica que impulse actividades agrícolas amigables con el ambiente. Las políticas en uso racional del agua en todos los sectores como el agrícola, industrial y doméstico. La temática de manejo adecuado de desechos líquidos, sólidos y gaseosos para reducir los aportes de estos al cambio global.

Debe asumirse el tema de gestión del riesgo en ecosistemas marinos y costeros como una prioridad que incluya la capacitación, el empoderamiento local, la búsqueda de soluciones desde las experiencias de las comunidades locales, incorporando la variabilidad climática como una variable de gestión de los recursos que promueva los procesos de adaptación tanto de ecosistemas como de comunidades humanas.

Debido a que, en las áreas costeras son susceptibles a las acciones desarrolladas en la parte continental porque están corriente abajo de las fuentes de contaminación urbanas, industriales y agrícolas. Además, las áreas con concentración urbana o semi-urbana ubicados en la costa o cerca de ella y la presión ambiental que ocasionan reduce la capacidad de carga de los ecosistemas que absorben los impactos (Roberts y Muir, 1995).

En el eje de investigación debe priorizarse la actualización del inventario nacional de humedales en esta área de conservación, mejorar nuestro conocimiento sobre los cambios que ocurren en los sistemas naturales en relación con las variabilidades climáticas actuales, el reconocimiento de las tenencias de la tierra en áreas de humedales, el fomento de la conciencia pública sobre estos temas y la reducción de la deforestación en el área.

También deben realizarse trabajos en restauración de los humedales, principalmente de yolillo, los cuales han cambiado de forma importante en la región (Castillo, 2014). Y de forma conjunta reducir el cambio de uso del suelo en humedales. También debe fortalecerse y retomarse el tema de reconocimiento de los servicios ambientales de los humedales (PSA) así como la búsqueda de fuentes de energía alternas que sustituyan las represas por la variabilidad en los patrones de precipitación que se muestran en la zona.

A nivel institucional y local deben promoverse programas de manejo de desechos sólidos y líquidos que consideren la separación, recolección y tratamiento de los mismos, los cuales en la región están limitados. De igual forma, se deben fomentar de los planes institucionales de uso de la energía y del agua, en el diseño de infraestructuras nuevas debe considerarse el riesgo de afectación por los cambios en la línea de costa, la erosión costera y la fuerza del mar.

Esto es fundamental para asegurar que las obras se mantengan en el largo plazo y se reduzca la necesidad de intervención posterior, así como la posibilidad de implementar sistemas de recolección de agua de lluvia.

Estas acciones son fundamentales, ya las leyes, las políticas, las estrategias no son indicadores confiables del nivel de compromiso que como país tenemos para enfrentar la variabilidad climática y sus efectos. En ese sentido, Aguilar (2015) señala que no se evidencia una correlación positiva entre la eficacia de la respuesta política y la implementación de medidas de respuesta. Por tal razón, la adaptación basada en comunidades corresponde un indicador de los avances en mitigación.

En la zona se deben impulsar esfuerzos para que la acuicultura se desarrolle bajo criterios de sostenibilidad y reduciendo los impactos ambientales, dado que se ha demostrado que puede contribuir con la seguridad alimentaria satisfaciendo la demanda

local y nacional, esto es importante debido a que las pesquerías de especies comerciales ha reducido el volumen de producto (GESAMP, 2001). Pero los procesos de producción y funcionamientos de la acuicultura deben manejarse de forma multidisciplinaria para mantener el delicado y complejo equilibrio de los ecosistemas costeros (Macintosh y Phillips 1993; Landesman 1994; Hopkins 1996).

Se concluye que las comunidades costeras del Caribe Sur se han adaptado a las diversas condiciones que la variabilidad climática les ha presentado. Sin embargo, esto es desplanificado. Cada ciudadano debe asumir las responsabilidades asociadas con los cambios globales a los que nos enfrentamos. Y contribuir desde los diversos frentes que asume, desde el conocimiento y actividad económica que realiza hasta en el nivel individual como en el colectivo en el que participa. Las zonas costeras son puntos críticos de resiliencia. El desarrollo socio-económico, el ambiente y la variabilidad climática se entrelazan provocando impactos que no pueden ser obviados sino que deben prevenirse.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, L. y Castañeda, I. 2000. Sobre marinos, marinas, mares y mareas: perspectivas de género en zonas marino – costeras. Costa Rica, Unión Mundial para la Naturaleza, UICN, pp: 8 – 65.
- Aguilar, Y. 2015. Legislación sobre Cambio Climático: un desafío para El Salvador. Perspectivas FES. [fesamericacentral.org. http://es.scribd.com/doc/270438464/Legislacion-Sobre-Cambio-Climatico-Un-Desafio-Para-El-Salvador-Aguilar-2015-Perspectivas-FES](http://es.scribd.com/doc/270438464/Legislacion-Sobre-Cambio-Climatico-Un-Desafio-Para-El-Salvador-Aguilar-2015-Perspectivas-FES)
- African and Latino American Resilience to Climate Change Project (ARCC 2014). Vulnerabilidad y resiliencia frente al cambio climático en el Occidente de Honduras. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), mediante una Orden de Trabajo bajo el Contrato de Monto Indefinido “Prosperidad, Medios de Vida y Conservación de Ecosistemas” —PLACE (Contrato de USAID No. AID-EPP-I-00-06-00008, Orden de Trabajo AID-OAA-TO-11-00064).
- Altieri, M. A., y Nicholls, C. (2008). Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *Agroecología*, 3, 7-24.
- Anadón, R., Duarte, C. M., y Fariña, C. (2005). Impactos sobre los ecosistemas marinos y el sector pesquero. *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*, 147-182.
- Aragón, O., Colque, P. y Rosales, B. (2012). *Estrategia Local de adaptación al cambio climático en zonas marinas y costeras del Caribe Sur de Costa Rica*. San José, Costa Rica: CATIE.

- Barton, J. R. (2009). Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. *Revista de geografía Norte Grande*, (43), 5-30. Recuperado en 17 de mayo de 2015, de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022009000200001&lng=es&tlng=pt. 10.4067/S0718-34022009000200001
- Brown, O. (2008) Migración y cambio climático. Serie de Estudios de la OIM sobre la Migración, Organización Internacional para las Migraciones. Ginebra, Suiza, N.º 31, págs. 64.
- Byg, A. and Salick, J. 2009. Local perspectives on a global phenomenon— Climate change in Eastern Tibetan villages. *Global Environmental Change*. Vol 19 (2): 156–166.
- Cannon, T. and Mueller-Mahn, D. 2010 “Vulnerability, Resilience and Development Discourses in Context of Climate Change”, *Natural Hazards*, Vol. 55, No. 3: 621-635.
- Creswell, J. W. (2005). *Educational research: Planning, conducting and evaluating quantitative and qualitative research* (2.^a ed.). Upper Saddle River: Pearson Education
- Adger, W.N., S. Agrawala, M.M.Q. Mirza, C. Conde, K. O’Brien, J. Pulhin, R. Pulwarty, B. Smit and K. Takahashi, 2007: Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 717-743. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-chapter17.pdf>
- Carballo, J. L., Bautista-Guerrero, E., Nava, H., y Cruz-Barraza, J. A. (2010). Cambio climático y ecosistemas costeros. Bases fundamentales para la conservación de los arrecifes de coral del Pacífico Este. *La Biodiversidad en Ecosistemas Marinos y Costeros del Litoral de Iberoamérica y el Cambio Climático: I*. Red Cyted Biodivmar, La Habana, 183-193.
- Castillo Ch, M. 2014. Análisis espacial y temporal de los humedales costeros del Caribe Sur de Costa Rica entre 1989-2014. Tesis de maestría profesional en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Universidad Nacional, Costa Rica. 62 pág.
- Castles, S. (2003) La política internacional de la migración forzada. *Migración y Desarrollo*, N.º 1, págs. 74-90.
- Cortés, J., M. and Risk. J. 1985. A reef under siltation stress: Cahuita, Costa Rica. *Bulletin of Marine Science*, 36:339-356.
- Costa Posada, C. (2007). La adaptación al cambio climático en Colombia. *Revista de Ingeniería*, (26), 74-80. Retrieved May 16, 2015, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932007000200010&lng=en&tlng=es
- Dirección de Cambio Climático Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Republica de Colombia. 2013. Adaptación basada en Comunidades – AbC. Bases conceptuales y guía metodológica para iniciativas rápidas de AbC en Colombia. Dirección de Cambio Climático, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS-Centro para la Migración y el Desarrollo-CIM-Cooperación Alemana. https://www.minambiente.gov.co/images/Atencion_y_participacion_al_ciudadano/Consulta_Publica/030214_consulta_pub_adaptacion_comunidades.pdf

- Espinoza, C y Grandas, L. 2015. Protocolo para la captura, extracción y disposición final del pez león (complejo *Pterois volitans* / miles) en el Caribe Costarricense. Fundación Trichecus y Asociación de pescadores Artesanales del Caribe Sur.
- Felicísimo, A. M., Muñoz, J., Mateo, R. G., y Villalba, C. J. (2012). Vulnerabilidad de la flora y vegetación españolas ante el cambio climático. *Revista Ecosistemas*, 21(3), 1-6.
- Gallopín, G. Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. Santiago: CEPAL, Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 64, 2003. http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5763/S033120_es.pdf?sequence=1
- Gemenne, F. y Reuchlin, P. (2008) Asia central, Migraciones Forzadas. Universidad de Oxford, N.º 31, págs. 14-15.
- GESAMP. 2001. Planning and management for sustainable coastal aquaculture development. Rep. Stud. GESAMP. 68: 90 pp.
- Herrera, W. (1985). Clima de Costa Rica. EUNED. San José 1985
- Herrera Carassou, R. (2006) La perspectiva teórica en el estudio de las migraciones, Siglo XXI. México, 227 págs.
- Hernández Santana, J. R., Ortiz Pérez, M. A., Méndez Linares, A. P., y Gama Campillo, L. (2008). Morfodinámica de la línea de costa del estado de Tabasco, México: tendencias desde la segunda mitad del siglo XX hasta el presente. *Investigaciones geográficas*, (65), 7-21.
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., ... & Knowlton, N. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *science*, 318(5857), 1737-1742.
- Hopkins, J.S. 1996. Aquaculture sustainability: avoiding the pitfalls of the green revolution. *World Aquaculture* 27 (2): 13 – 15.
- Huq, S. and Reid, H. 2007. Community-Based Adaptation. An IIED Briefing. International Institute for Environment and Development (iied). <http://pubs.iied.org/pdfs/17005IIED.pdf>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2008). Clima variabilidad y Cambio Climático en Costa Rica (en línea). (ed) Comité Regional de Recursos Hidráulicos. Consultado 24 de mayo del 2015. Disponible en: [http://cglobal.imn.ac.cr/Pdf/adaptacion/EI%20clima,%20variabilidad%20y%20cambio%20climatico%20en%20CR%20\(version%20final\).pdf](http://cglobal.imn.ac.cr/Pdf/adaptacion/EI%20clima,%20variabilidad%20y%20cambio%20climatico%20en%20CR%20(version%20final).pdf)
- Jiménez, C. E., y Suescún, J. I. S. (2011). Los desplazados ambientales más allá del cambio climático. Un debate abierto. *Cuadernos Geográficos*, 49, 201-215.
- Lira, L. Revalorización de la planificación del desarrollo. Santiago: CEPAL, 2006. ISSN electrónico 1680-8835
- Instituto Costarricense de Turismo (ICT). 2002. Plan General de Desarrollo Turístico Sostenible 2002-2012. San José, Costa Rica. 170 p.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. <http://ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.UkYBqtIz08y>

- Isla Mollera, I. 2006. Manejo sostenible del cultivo de camarón en Cuba. Estudio de caso: camarónera CALISUR, provincia Granma. Tesis de maestría en Manejo Integrado de la Zona Costera. Centro de Investigaciones Marinas, Universidad de La Habana.
- Mora, F. 2014. Políticas de adaptación al cambio climático en zonas costeras alternativas para las comunidades en Costa Rica. *Perspectivas FES* 3: 1-8.
- Peñuelas, J., Sabaté, S., Filella, I., y Gracia, C. (2004). Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres: observación, experimentación y simulación. *Ecología del Bosque Mediterráneo en un Mundo Cambiante. Naturaleza y Parques Nacionales*. Ministerio de Medio Ambiente, pp. 425-460.
- Orr, J. C., Fabry, V. J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S. C., Feely, R. A., ... & Key, R. M. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437(7059), 681-686.
- Rojas, M. (2003). El cambio climático y los humedales en Centroamérica: Implicaciones de la variación climática para los ecosistemas acuáticos y su manejo en la región. IUCN.
- Resilience Alliance. (2002). Resilience. <http://www.resalliance.org/index.php/resilience>
- Roberts, R.J. and J. F. Muir. 1995. 25 Years of World Aquaculture: Sustainability, a global program. In: *Sustainable Fish Farming*, (H. Reinertsen y H. Haaland, eds.), A.A. Balkema, Róterdam/Brookfield, pp: 167 – 181.
- Romer, K. (2006) ¿Refugiados ‘ambientales’?, *Migraciones Forzadas*. Universidad de Oxford, N.º 25, págs. 61.
- Sharp, G.D. 2004. Cambio climático y pesquerías regionales en el futuro: análisis en colaboración.
- FAO: Documento Técnico de Pesca N° 452. Roma, FAO. 84p. <http://www.fao.org/docrep/007/y5028s/y5028s00.htm>
- Macintosh, D.J. and M.J. Phillips. 1993. *Environmental Issues in Shrimp farming*. p. 118 – 145.
- Moreno, J. M., De la Rosa, D., y Zazo, C. (2005). Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático.
- Landesman, L. 1994. Negative impacts of coastal aquaculture development. *World Aquaculture* 25: 12 – 15.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). "Cambio Climático 2007: La base científica física". París, 2007. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>
- Rojas, M. (2003). El cambio climático y los humedales en Centroamérica: Implicaciones de la variación climática para los ecosistemas acuáticos y su manejo en la región. IUCN.
- Thomas, J. R., y Nelson, J. K. (2007). *Métodos de investigación en actividad física*. Barcelona: Paidotribo.
- Vallega, A. 1999. *Fundamentals of Integrated Coastal Management*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 264 pp.
- Walker, B., Carpenter, S., Anderies, J., Abel N., Cumming G., Janssen, M., Lebel, L., Norberg, J., Peterson, G.D., and Pritchard, R., 2002, Resilience Management in socioecological systems: a working hypothesis for a participatory approach, *Conservation Ecology*, Vol 6(1), www.consecol.org/vol16/iss1/art14
- Yáñez-Arancibia, A., Twilley, R. R., y Lara-Domínguez, A. L. (2016). Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. *Madera y Bosques*, 4(2), 3-19.

Capítulo IV

Estrategia de manejo de los recursos marinos y costeros del Caribe Sur, Costa Rica para la adaptación a la variabilidad climática

Strategy of management of marine and coastal resources of the Southern Caribbean, Costa Rica for adaptation to climate variability

La planificación estratégica en este documento será entendida como el instrumento de gestión que contribuirá a la toma de decisiones por parte de las organizaciones en torno a las acciones que permitan adaptarse a los cambios que se empiezan a observar en la zona en relación con la variabilidad climática y a las actividades que deben implementarse en el mediano plazo para adaptarse a los cambios y a las demandas que impone el entorno a fin de que se logre la eficiencia, eficacia, calidad en los bienes y servicios que se proveen y la conservación de los recursos marinos y costeros. Con este enfoque se aborda el objetivo de este capítulo que consiste en formular una propuesta de gestión de los recursos que contenga las medidas y recomendaciones que contribuyan a la adecuada gestión de los recursos marinos y costeros en Costa Rica en el marco de la adaptación al cambio climático.

La implementación de esta estrategia puede ser asumida por COREDES, que está creada vía decreto y que alberga a diversas instituciones públicas con incidencia local.

Los Consejos Regionales de Desarrollo (COREDES) son instancias regionales que coordinan y articulan políticas, planes, programas y proyectos institucionales e interinstitucionales, mediante la participación activa de los diferentes segmentos involucrados en el desarrollo del espacio regional. (Decreto Ejecutivo N° 39453-MP-PLAN de 14 de octubre de 2015). En la zona funciona el COREDES de Huetar Caribe.

Planteamientos estratégicos

Visión y Misión

Visión:

Ser reconocidos, a nivel local, como una estrategia consolidada, dinámica, que se ajusta a los cambios asociados con la variabilidad climática, implementada con liderazgo y con reconocimiento en el fomento de la conservación de la biodiversidad marina y costera desde los intereses comunales con involucramiento de diversos actores.

Misión:

Reducir el impacto de los cambios asociados con la variabilidad climática sobre los ecosistemas marinos y costeros del Caribe Sur de Costa Rica de forma segura y eficiente promoviendo acciones orientadas a la conservación de la biodiversidad marina y costera.

Objetivo de la planificación estratégica

Contribuir a la conservación de ambientes y ecosistemas marino-costeros en el Caribe Sur de Costa Rica como una iniciativa de base comunal, estatal y multisectorial que busca el establecimiento de mecanismos de cooperación entre los actores con objeto de enfrentar de manera eficaz los crecientes retos ambientales, sociales, económicos y de cambio global.

Líneas estratégicas de acción

Esta planificación estratégica plantea seis líneas estratégicas de acción, cada una de las cuales está orientada por los objetivos que se plantean a continuación y que constituyen un mecanismo mediante el cual se contribuye a alcanzar el cumplimiento de la misión y visión en el área de estudio.

Esos objetivos son los ejes conductores que ayudan a seleccionar las acciones adecuadas para alcanzar la visión, misión y objetivos que orientan la planificación estratégica.

Línea estratégica 1: Concienciación social de la problemática inducida en la costa por la influencia de la variabilidad climática

Objetivo: Incrementar la conciencia de la sociedad en relación con la problemática de la variabilidad climática.

Línea estratégica 2: Mitigación de las consecuencias de la variabilidad climática sobre las comunidades humanas costeras mediante acciones indirectas.

Objetivo: Limitar la ejecución de actividades agrícolas, ganaderas y de infraestructura en las cercanías de la línea de costa.

Línea estratégica 3: Aplicación de estrategias de retroceso para mitigar los impactos de la variabilidad climática

Objetivo: Impulsar el abandono de áreas vulnerables y a la reubicación de actividad y comunidades directamente afectada.

Línea estratégica 4: Aplicación de medidas de adaptación a la variabilidad climática.

Objetivo: Alcanzar el equilibrio entre los sistemas marinos y costeros y el aprovechamiento considerando la variabilidad climática.

Línea estratégica 5: Aplicación de estrategias de protección para enfrentar la variabilidad climática

Objetivo: Aumentar las áreas con protección y la efectividad de las mismas.

Línea estratégica 6: Evaluación cualitativa y cuantitativa de la vulnerabilidad de las zonas marino costeras.

Objetivo: Impulsar la investigación sobre la influencia de la variabilidad climática sobre las comunidades humanas y biológicas.

Actividades

Las líneas de acción que se plantean a continuación pretenden reducir los impactos y amenazas que provoca la variabilidad climática sobre los ecosistemas marinos y costeros para contribuir a mejorar el estado de conservación de la biodiversidad marina costera y cumplir con los objetivos específicos (Cuadro 15).

Cuadro 15. Líneas estratégicas, productos, acciones y condiciones para la implementación

Implementación					
Línea estratégica	Objetivo	Meta	Actividades	Responsables	Socios
1. Concienciación social de la problemática inducida en la costa por la influencia de la variabilidad climática.	Incrementar la conciencia de la sociedad en relación con la problemática de la variabilidad climática.	Al año 2025, los riesgos y amenazas sobre la zona marino costera se han mitigado sustancialmente	1. Desarrollo e implementación de un plan de educación ambiental sobre la problemática de la variabilidad climática en los ecosistemas marino costeros liderado por ACLAC y con participación activa de las comunidades locales	Programa de Educación Ambiental ACLAC MEP Universidades	Fuerza Pública, Guardacostas. Municipalidad de Limón y Talamanca Comunidades costeras
			2. Desarrollar una línea base sobre el nivel de información disponible, conocimientos locales y percepción, así como la influencia de lo anterior en el comportamiento socio-ambiental hacia los recursos marinos y costeros en el Caribe Sur	Programa de Educación Ambiental ACLAC Universidades Centro de investigaciones	Fuerza Pública, Guardacostas. Municipalidad de Limón y Talamanca MEP
			3. Ejecución de sesiones de inducción e información sobre la problemática de la variabilidad climática en los ecosistemas marino costeros con énfasis en las ASP	Programa de Educación Ambiental ACLAC Comunidades costeras	Fuerza Pública, Guardacostas. Municipalidad de Limón y Talamanca MEP Comunidades costeras Universidades

Implementación					
Línea estratégica	Objetivo	Meta	Actividades	Responsables	Socios
			4. Promoción de campaña de difusión y concienciación sobre la problemática de la variabilidad climática en los ecosistemas marino costeros	Programa de Educación Ambiental ACLAC Comunidades costeras	Fuerza Pública, Guardacostas. Municipalidad de Limón y Talamanca MEP Universidades.
			5. Monitorear el impacto de las acciones de concienciación sobre la problemática de la variabilidad climática en los ecosistemas marino costeros	Programa de Educación Ambiental ACLAC	Municipalidad de Limón y Talamanca MEP
			7. Promulgar el trabajo con los agricultores pequeños, medianos y grandes de la zona continental para promover la implementación de buenas prácticas agrícolas y ambientales	Programa de Educación Ambiental ACLAC MAG	Municipalidad de Limón y Talamanca MEP
2. Mitigación de las consecuencias de la variabilidad climática sobre las comunidades humanas	Limitar la ejecución de actividades agrícolas, ganaderas y de infraestructura	Al año 2022, las actividades económicas, agrícolas, ganaderas y de infraestructura estarán planificadas para concentrarse	1. Desarrollar un plan de ordenamiento territorial para los cantones de Limón y Talamanca, basado en información de línea base ambiental sobre el estado de conservación e integridad ecológica de las poblaciones y de los ecosistemas, de las comunidades costeras y de las actividades económicas que desarrollan.	Municipalidad de Limón y Talamanca MIDEPLAN. ICT SETENA MAG	Centros de investigación. Universidades Organizaciones locales. MOPT INDER CONAVI

Implementación					
Línea estratégica	Objetivo	Meta	Actividades	Responsables	Socios
costeras mediante acciones indirectas.	en las cercanías de la línea de costa.	fuera de la cercanía de los 200 m o fuera de la franja de ZMT)			
		Al año 2025, el Plan de ordenamiento territorial es una herramienta clave que se aplica para la toma de decisiones en los dos cantones involucrados.	1. Capacitación a funcionarios públicos para la ejecución eficiente del plan de ordenamiento territorial de los cantones de Limón y Talamanca.	Municipalidad de Limón y Talamanca MIDEPLAN	Centros de investigación. Universidades Organizaciones locales. MOPT INDER CONAVI INA
			2. Implementación del Plan de ordenamiento territorial en Municipalidad de Limón y Talamanca.	Municipalidad de Limón y Talamanca MIDEPLAN	Comités cantonales de emergencia MAG
			3. Priorizar acciones de intervención en la zona marino costera de acuerdo a los resultados obtenidos del Plan de ordenamiento territorial	Municipalidad de Limón y Talamanca MIDEPLAN	Organizaciones locales Comités cantonales de emergencia MAG
			4. Impulsar acciones de restauración de la cobertura forestas en las márgenes de los ríos, pantanos, manglares, playas para minimizar la	ACLAC-SINAC Organizaciones locales Comités cantonales	AyA MAG Municipalidad de Limón y Talamanca

Implementación					
Línea estratégica	Objetivo	Meta	Actividades	Responsables	Socios
			influencia de los procesos de salinización	de emergencia	ICE
		Al año 2030, un plan de investigación inter y multidisciplinaria para generar información para la adaptación, implementado	1. Elaborar un Plan de investigación inter y multidisciplinaria para para la adaptación a la variabilidad climática con participación de diversos autores.	Centros de investigación. Universidades SINAC	Organizaciones locales. MOPT INDER CONAVI INA Municipalidad de Limón y Talamanca MIDEPLAN
			2. Implementar el Plan de investigación inter y multidisciplinaria para para la adaptación a la variabilidad climática con participación de diversos actores.		
			3. Desarrollo de una línea base con información técnico-científico, conocimientos locales y percepción, así como la influencia de lo anterior en el comportamiento socio-ambiental para la adaptación a la variabilidad climática.		

Implementación					
Línea estratégica	Objetivo	Meta	Actividades	Responsables	Socios
	Impulsar el abandono de áreas vulnerables y a la reubicación de actividades y comunidades directamente afectada.	Al año 2020, no hay nueva infraestructura ni actividades productivas en la zona marítima terrestre.	1. Formar una comisión donde participen los prestadores de servicios públicos a fin de considerar la temática de vulnerabilidad a la variabilidad climática para otorgar tales servicios	Municipalidad de Limón y Talamanca	Organizaciones locales. Sector privado. ICE AyA Acueductos rurales SINAC
			2. Visitas trimestrales para supervisar que no se haga construcción en esta zona	Municipalidad de Limón y Talamanca SINAC	Comunidades locales Organizaciones locales
			3. Marcar la zona pública y la zona restringida de la zona marítimo terrestre para que no haya dudas por parte de los locales	IGN Municipalidad de Limón y Talamanca	ICT SINAC
			4. Promover la aplicación del plan de ordenamiento territorial	Municipalidad de Limón y Talamanca ICT	ICE AyA Acueductos rurales SINAC
		Al año 2022, las nuevas industrias y comercios están concentradas en la parte posterior de la zona	1. Otorgamiento de permisos de construcción únicamente en la parte posterior de la zona marítimo terrestre	Municipalidad de Limón y Talamanca	Comunidades locales
			2. Establecimiento de oportunidades laborales y mejores servicios en la parte posterior de la zona marítimo terrestre	Municipalidad de Limón y Talamanca Cámara de comercio	Comunidades locales Sector privado

Implementación					
Línea estratégica	Objetivo	Meta	Actividades	Responsables	Socios
		marítimo terrestre	3. Seguimiento al plan de ordenamiento territorial	Municipalidad de Limón y Talamanca SINAC Comunidades locales	Organizaciones locales. Sector privado. ICE AyA Acueductos rurales SINAC
			4. Generación de un proceso técnico, político, administrativo, para, en el largo plazo, establecer la organización del uso, la ocupación y la transformación del suelo basado en las fortalezas, debilidades, limitaciones y oportunidades desde los componentes biofísicos, socioeconómicos y políticos	Municipalidad de Limón y Talamanca SINAC Universidades	Organizaciones locales. Sector privado. ICE AyA Acueductos rurales SINAC Guardacostas
			5. Desarrollo de campañas de recolección de desechos sólidos reciclables	ACLAC-SINAC Corredor Biológico Talamanca - Caribe	MEP Organizaciones comunales Sector privado
			6. Impulsar microempresas comunales para la recolección y preparación de materiales de reciclaje	ACLAC-SINAC Corredor Biológico Talamanca – Caribe IMAS MyPIMES-MICIT	Organizaciones comunales Sector privado UNIVERSIDADES CONARE-CENAT- Incubadora de proyectos

Implementación					
Línea estratégica	Objetivo	Meta	Actividades	Responsables	Socios
3. Aplicación de estrategias de retroceso para mitigar los impactos de la variabilidad climática	Impulsar el abandono de áreas vulnerables y a la reubicación de actividades y comunidades directamente afectada	Al 2020, el aumento sobre el nivel del mar y la erosión costera no producen afectaciones a las comunidades locales	1. Evaluación de las zonas costera vulnerables a los cambios asociados con variabilidad climática	Universidades Centros de investigación ACLAC-SINAC	CNE Organizaciones comunales Sector privado
			2. Discusión y divulgación de los resultados de evaluación de las zonas costera vulnerables a los cambios asociados con variabilidad climática	Universidades Centros de investigación ACLAC-SINAC	CNE Organizaciones comunales Sector privado
			3. Oficialización de los resultados de la evaluación de las zonas costera vulnerables a los cambios asociados con variabilidad climática	ACLAC-SINAC	CNE AyA CONAVI MIDEPLAN
			4. Las organizaciones financieras como bancos, mutuales, asociaciones favorecerán a los propietarios ubicadas fuera de las áreas vulnerables planteadas en la evaluación	SUGEF Bancos públicos Bancos privados	Asociaciones de productores Organizaciones comunales Acueductos rurales Sector privado
			5. Mejoramiento de las prácticas agrícolas y ambientales en los sistemas productivos	MAG SETENA ACLAC-SINAC	Asociaciones de productores, Organizaciones comunales Acueductos rurales Sector privado

Implementación						
Línea estratégica	Objetivo	Meta	Actividades	Responsables	Socios	
4. Aplicación de medidas de adaptación a la variabilidad climática	Alcanzar el equilibrio entre los sistemas marinos y costeros y el aprovechamiento considerando la variabilidad climática	Al 2022, la actividad pesquera del Caribe Sur se encuentra en sostenibilidad ambiental y económica	1. Otorgamiento de los permisos de pesca a pescadores locales mediante la figura de cooperativas o asociaciones	INCOPESCA Pescadores	Organizaciones locales. INFOCOOP Comunidades locales	
			2. Acompañamiento de la actividad pesquera para que sea responsable	INCOPESCA Pescadores	Organizaciones locales. INFOCOOP Comunidades locales	
			3. Aumento de la eficiencia en la recolección de la información pesquera	INCOPESCA Pescadores SENASA	Organizaciones locales. INFOCOOP Comunidades locales	
		Al 2020, retomar la construcción de la infraestructura sobre pilotes	1. Diseños de casas, edificios y otras infraestructuras sobre pilotes	INVU IMAS	Colegio de Ingenieros y Arquitectos de	
			2. Realizar talleres, foros, capacitaciones, etc. para promover el uso de edificaciones sobre pilotes			
		Al 2020, las poblaciones de pez león y otras especies invasoras se encuentran controladas y en constante manejo	1. Desarrollo y aplicación de la estrategia nacional para el manejo del pez león	ACLAC SINAC Comisión Nacional del Pez León	Comunidades locales Pescadores Organizaciones no gubernamentales Universidades	
			2. Desarrollo e implementación de una estrategia para especies exóticas marinas y estuarinas	ACLAC SINAC Comisión de especies exóticas	Comunidades locales Pescadores Organizaciones no gubernamentales Universidades	

Implementación					
Línea estratégica	Objetivo	Meta	Actividades	Responsables	Socios
			3. Promover la priorización de los PSA en la zona costera	FONAFIFO ACLAC-SINAC	Organizaciones no gubernamentales Comunidades locales Organizaciones locales. Sector privado
			4. Desarrollo y aplicación de la estrategia nacional para el manejo de especies vegetales introducidas en la zona costera	ACLAC SINAC Comisión de especies exóticas	Comunidades locales Pescadores Organizaciones no gubernamentales Universidades
			5. Promover las buenas prácticas de pesca entre los pescadores de subsistencia y comerciales	INCOPECA ACLAC-SINAC Asociaciones de pescadores	Comunidades locales Organizaciones no gubernamentales Universidades
			6. Colocar boyas y/o dispositivos para el anclaje o amarrar de botes	INCOPECA ACLAC-SINAC Asociaciones de pescadores	Comunidades locales Organizaciones no gubernamentales Universidades
			1. Declaración de la Isla Uvita como un área silvestre protegida bajo la administración del ACLAC-SINAC	Municipalidad de Limón ACLAC-SINAC Comunidades locales	Universidades Sector privado Organizaciones no gubernamentales

Implementación							
Línea estratégica	Objetivo	Meta	Actividades	Responsables	Socios		
5. Aplicación de estrategias de protección contra la variabilidad climática	Aumentar las áreas con protección y la efectividad de las mismas.	Al 2025, las áreas silvestres protegidas aumentaron en área	2. Declaración en la localidad de Puerto Viejo de un área silvestre marina protegida bajo la administración del ACLAC-SINAC	Comunidades locales ACLAC-SINAC	Universidades Sector privado Organizaciones no gubernamentales		
			3. Desarrollo del plan de manejo de la Isla Uvita y el Refugio Nacional de Vida Silvestre Limoncito	ACLAC-SINAC Universidades Centro de Investigación	Universidades Sector privado Organizaciones no gubernamentales		
			4. Desarrollo del plan de manejo del área silvestre marina protegida de Puerto Viejo	ACLAC-SINAC Universidades Centro de Investigación	Universidades Sector privado Organizaciones no gubernamentales		
		Al 2025, las áreas silvestres protegidas están ejecutando el plan de manejo actualizado	5. Revisión, cada dos años, de los planes de manejo de todas las áreas protegidas que estén en la costa del ACLAC-SINAC	ACLAC-SINAC Organizaciones no gubernamentales Universidades Centro de Investigación	Universidades Centros de investigación IMN SINAC	Organizaciones locales Comunidades Organizaciones no gubernamentales	
			6. Desarrollo de los planes de acción propuesto en cada plan de manejo				
			7. Implementación de los planes de acción desarrollados				
					1. Desarrollo de un observatorio de la variabilidad climática en la zona Caribe	Universidades Centros de investigación IMN SINAC	Organizaciones locales Comunidades Organizaciones no gubernamentales
					2. Obtención de fondos para investigación		

Implementación					
Línea estratégica	Objetivo	Meta	Actividades	Responsables	Socios
6. Evaluación cualitativa y cuantitativa de la vulnerabilidad de las zonas marino costeras en relación con la variabilidad climática	Impulsar la investigación sobre la influencia de la variabilidad climática sobre las comunidades humanas y biológicas	Al 2025, un equipo de investigación consolidado para la adaptación a la variabilidad climática del Caribe de Costa Rica	sobre las vulnerabilidades a la variabilidad climática de las zonas marino costeras		
			3. Definición de prioridades de investigación holísticas		
			4. Formación de una comisión que recomiende a los diversos actores hacia donde deben orientarse las medidas de adaptación		
			5. Establecimiento de una estación meteorológica marina	IMN	Universidades Comisión Nacional de Emergencias
			6. Realización de una evaluación ecológica rápida en la localidad de Puerto Viejo	Universidades ACLAC- SINAC Centros de investigación	Organizaciones no gubernamentales
			7. Identificación de los sistemas que actúan como sumideros de carbono	Universidades Centros de investigación	Organizaciones no gubernamentales Comisión Nacional de Emergencias Sector privado ACLAC- SINAC

Conclusiones generales

El estado de salud de los arrecifes coralinos estudiados es de regular, en el caso de Puerto Viejo, a bueno en la Isla Uvita, indicando un gradiente de mejoría en dirección noroeste, marcada en la última década.

Las mayores variabilidades se evidencian en los períodos extremos del año (lluvioso y seco), donde las condiciones con mayor cambio se corresponden con los meses de febrero y octubre. Esto coincide con que con la variabilidad climática se extreman los valores de los parámetros biofísicos; en el periodo seco, las sequías son mayores y en periodo lluvioso las lluvias son intensas, la temperatura incrementa con los años en el periodo seco, la penetración de la luz se reduce en el periodo lluvioso y productividad biológica aumenta en el periodo lluvioso y es mayor en 2013

La conjunción de impactos ocasionados por la temperatura, la precipitación, clorofila a, (K490) (CAD) y materia orgánica disuelta presentó la categoría de menor diferencia durante el mes de abril. La mayor parte del año se mantuvo entre media a baja, mientras que junio presentó la condición “Muy alta” en cuanto a la coincidencia de diferencias climáticas, siendo el REGAMA el que evidencia la afectación mayor en el Caribe Sur.

Las comunidades costeras del Caribe Sur han propuesto y ejecutado acciones que les ha permitido adaptarse a los cambios que ha presentado el área de estudio, diversificando sus actividades. Pescadores, agricultores, personal vinculado al turismo muestran resiliencia a los cambios, lo que les permite avanzar con su desarrollo ante las condiciones asociadas a la variabilidad climática.

La implementación de la estrategia propuesta contribuirá a una adecuada gestión de los recursos marinos y costeros en Costa Rica, en el marco de la adaptación al cambio climático y al cumplimiento de los acuerdos de la Convención de Diversidad Biológica relacionados con la conservación de los arrecifes de coral y la adecuada gestión de las áreas protegidas.

Recomendaciones generales

Establecer, como mínimo, una estación meteorológica en el área marina que brinde datos meteorológicos estándar y adicional como como visibilidad, altura de nubes, altura marea y flujo, estado de la mar, temperatura agua de mar e información oleaje para mantener registros en el largo plazo. Tal acción debe ser implementada por el Instituto Meteorológico Nacional.

Proponer una nueva área marina en la localidad de Puerto Viejo. La misma puede tener la categoría de área marina de manejo que se define como “un área marina que busca garantizar la protección y el mantenimiento de la biodiversidad marina a largo plazo, y que generan un flujo sostenible de productos naturales y servicios ambientales a las comunidades. Esta categoría permite más usos en comparación con el régimen de protección del resto de las categorías de manejo” (Rodríguez Chaves 2011). Tal acción debe ser implementada por el ACLAC-SINAC.

Proponer el cambio de categoría de la Isla Uvita de Monumento Nacional, a la categoría de manejo de Refugio Nacional de Vida Silvestre, bajo la administración del ACLAC-SINAC. Dado que no ha sido eficaz la protección de los recursos naturales. Tal acción debe ser implementada por el ACLAC-SINAC.

Elaborar, actualizar, oficializar e implementar los planes de las áreas protegidas declaradas hasta la fecha, a saber, Parque Nacional Cahuita, Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo y Refugio Nacional de Vida Silvestre Limoncito. Tal acción debe ser implementada por el ACLAC-SINAC en cooperación de las Universidades y Centros de Investigación.

Referencias bibliográficas generales

- Ávila, G., F. Jiménez, J. Beer, M. Gómez, y M. Ibrahim. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30): 32-35
- Casasola, F., M. Ibrahim, C. Sepúlveda, N. Ríos & D. Tobar. 2009. Implementación de sistemas silvopastoriles y el pago de servicios ambientales en Esparza, Costa Rica: una herramienta para la adaptación al cambio climático en fincas ganaderas, p. 169-188. In M. Ibrahim & C. Sepúlveda (eds). *Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central*. Centro Agronómico Tropical (CATIE). Turrialba, Costa Rica.
- Jiménez, M. 2009. Resiliencia de los ecosistemas naturales terrestres de Costa Rica al cambio climático. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 140 p.
- Ministerio del Ambiente Energía y Telecomunicaciones (MINAET), Instituto Meteorológico Nacional (IMN), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH). (2008). *El clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH). San José, Costa Rica
- Morales, E. 2000. *Estudios Sociales 4*. Editorial Santillana. Primera Edición. San José, Costa Rica. 159p.
- Ordaz-Díaz, JL; Ramírez, D; Mora-Alfaro, J; Acosta, A; Serna-Hidalgo, B. 2010. *Costa Rica: efectos del cambio climático sobre la agricultura*. México, D.F., CEPAL. 76 p.
- Piedra Castro, L.; Bravo Chacón, J. y Salazar Herrera, B. (2009). Mamíferos del Refugio Nacional de Vida Silvestre Limoncito, Westfalia, Limón, Costa Rica. *Brenesia*, 71-72: 21-26
- ProAmbi. (1996). *Plan de Manejo para el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo*. Vol. I- II Y III. Proyecto de fortalecimiento institucional del SINAC. UCR- ProAmbi/ MINAE, San José- Costa Rica. 360 p.
- Rodríguez Chaves, M. (2011). *Conservando los recursos marinos en Costa Rica: áreas marinas protegidas y otras figuras de aprovechamiento sostenible*. *Revista Parques* (1): sp
- Quesada. (1997). *Struktur un Dynamik eines tropischen Feuchtwaldes nach Holznutzung in Costa Rica*. Fachbereich: Universität Gottingen.

Weitzner, V. y Fonseca, M. (2000). Cahuita, del conflicto a la colaboración en cultivar la paz: Conflicto y Colaboración en el Manejo de Recursos Naturales. Ed Daniel Bucles, Canadá. 23- 48 pp.

Anexos por capítulo

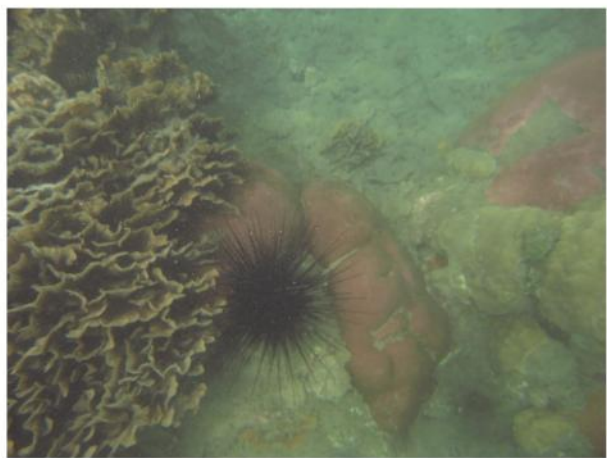
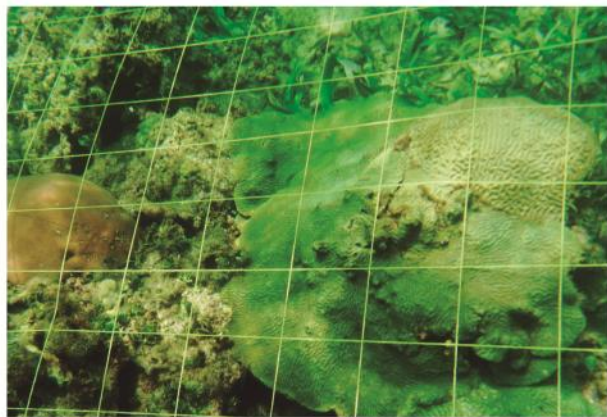
Capítulo 1

Anexo 1. Listado de especies identificadas en los arrecifes coralinos en cuatro localidades en el Caribe Sur, Costa Rica.

Clase	Familia	Lista de especies	Nombre común	Estado de conservación		Localidad			
				UICN	CITES	Manzanillo	Uvita	Cahuita	Puerto Viejo
Anthozoa		Actiniaria sp				x	x		
Anthozoa	Gorgoniidae	<i>Gorgonia</i> sp			NE				
Anthozoa	Zoanthidae	<i>Palythoa caribaeorum</i>	White encrusting zoanthid	NR	NE	x	x	x	x
Anthozoa	Stichodactylidae	<i>Stoichactis helianthus</i>	Caribbean sea anemone	NR	NE				x
Hydrozoa	Milleporidae	<i>Millepora complanata</i>	Blade Fire Coral	PM	NE	x	x	x	x
Scleractinia	Acroporidae	<i>Acropora palmata</i>	Elkhorn Coral	PC	II	x	x	x	
Scleractinia	Acroporidae	<i>Acropora prolifera</i>	Fused staghorn coral	NR	NE	x	x		
Scleractinia	Agariciidae	<i>Agaricia agarites</i>	Tan lettuce-leaf coral	NR	II		x		
Scleractinia	Agariciidae	<i>Agaricia tenuifolia</i>	Thin Leaf Lettuce Coral	NR	II	x		x	
Scleractinia	Astrocoeniidae	<i>Madracis decactis</i>	Ten-ray Star Coral	PM	NE	x		x	
Scleractinia	Astrocoeniidae	<i>Madracis formosa</i>	Eight-ray Finger Coral	PM	NE			x	
Scleractinia	Astrocoeniidae	<i>Madracis mirabilis</i>	Yellow Pencil Coral	NR	NE	x	x	x	x
Scleractinia	Astrocoeniidae	<i>Stephanocoenia intersepta</i>	Blushing Star Coral	PM	II	x	x	x	x
Demospongiae	Axinellidae	<i>Pseudaxinella lunaechartia</i>	Red Ball Sponge	NR	NE	x			

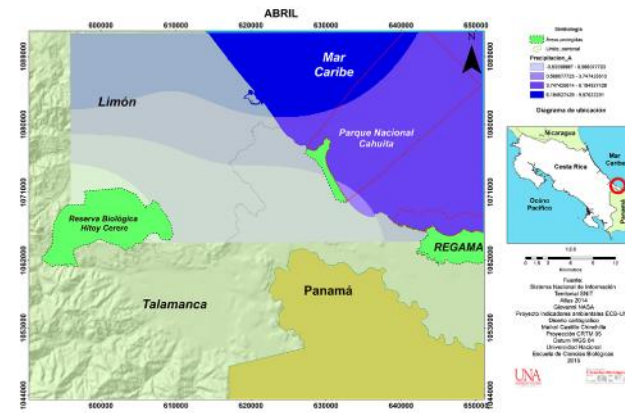
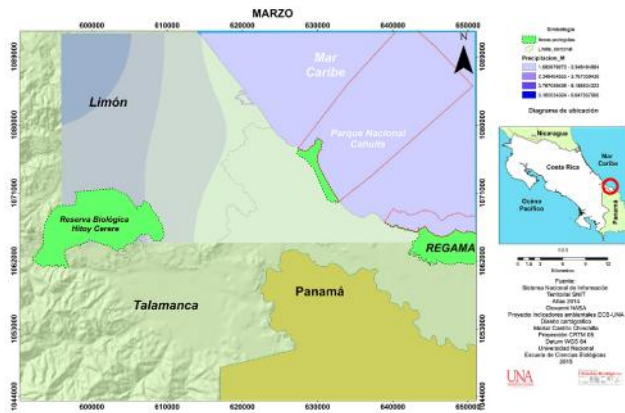
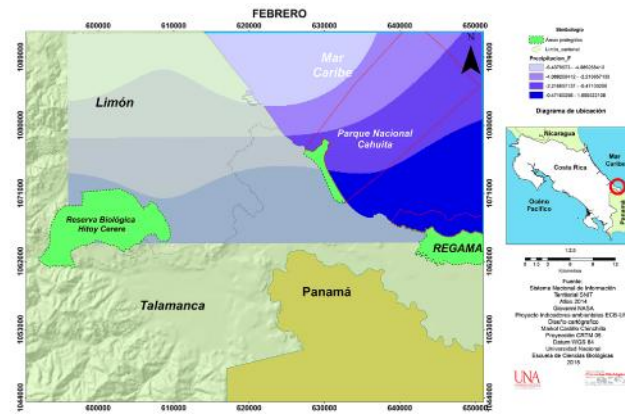
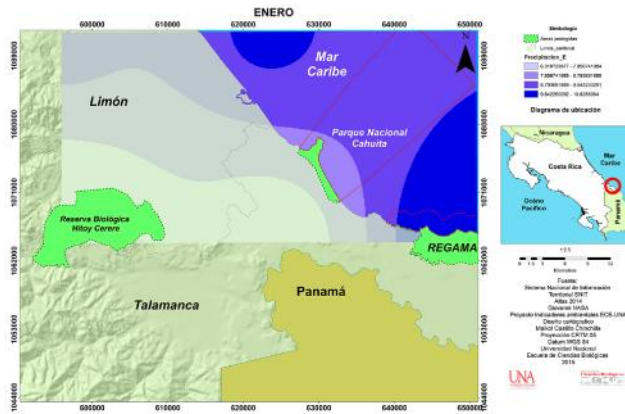
Demospongiae	Irciniidae	<i>Ircinia campana</i>	Vase sponge	NR	NE		x		
Demospongiae	Geodiidae	<i>Geodia gibberosa</i>	Sponges	NR	NE				
Scleractinia	Caryophylliidae	<i>Phyllangia americana</i>	Hidden Cup Coral	NR	NE				
Scleractinia	Faviidae	<i>Diploria clivosa</i>	Knobby Brain Coral	VL	II	x	x		x
Scleractinia	Faviidae	<i>Diploria labyrinthiformis</i>	Grooved Brain Coral	PM	NE		x		x
Scleractinia	Faviidae	<i>Diploria strigosa</i>	Symmetrical Brain Coral	PM	NE	x	x	x	x
Scleractinia	Faviidae	<i>Favia fragum</i>	Golfball Coral	PM	II	x	x		
Scleractinia	Faviidae	<i>Manicina areolata</i>	Rose Coral	PM	II	x			
Scleractinia	Faviidae	<i>Montastraea faveolata</i>	Mountainous Star Coral	PE	II		x	x	
Scleractinia	Faviidae	<i>Montastrea annularis</i>	Lobed Star Coral	NR	NE		x		
Scleractinia	Faviidae	<i>Montastrea cavernosa</i>	Great Star Coral	NR	II	x			x
Scleractinia	Faviidae	<i>Solenastrea bournoni</i>	Smooth Star Coral	PM	NE	x	x	x	
Scleractinia	Meandrinidae	<i>Dendrogyra cylindrus</i>	Pillar Coral	VL	II				x
Scleractinia	Meandrinidae	<i>Dichocoenia stokesii</i>	Elliptical Star Coral	VL	NE		x	x	
Scleractinia	Mussidae	<i>Mycetophyllia ferox</i>	Rough Cactus Coral	VL	NE		x		
Scleractinia	Oculinidae	<i>Oculina sp.</i>			NE	x	x		
Scleractinia	Poritidae	<i>Porites asteroides</i>	Mustard Hill Coral	NR	II	x	x	x	
Scleractinia	Siderastreidae	<i>Siderastrea radians</i>	Lesser Starlet Coral	PM	II	x	x		
Scleractinia	Siderastreidae	<i>Siderastrea siderea</i>	Massive Starlet Coral	PM	II	x	x	x	x

Anexo 2. Evidencia documental de los arrecifes evaluados

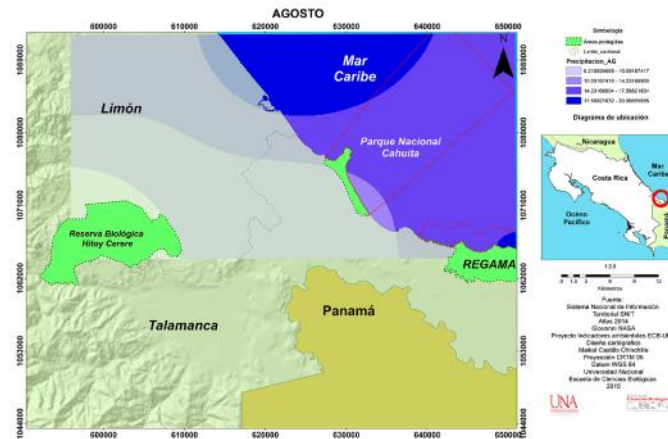
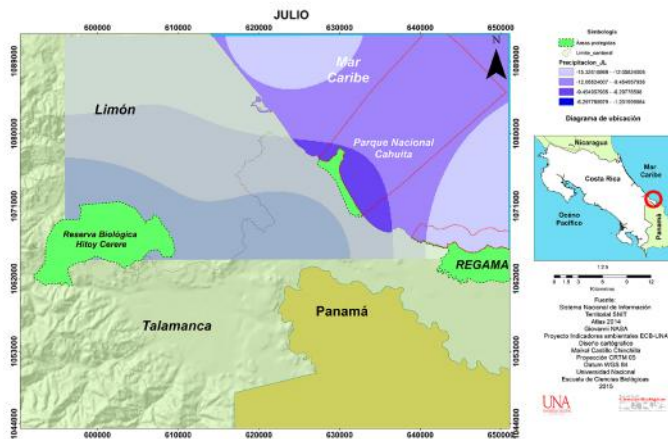
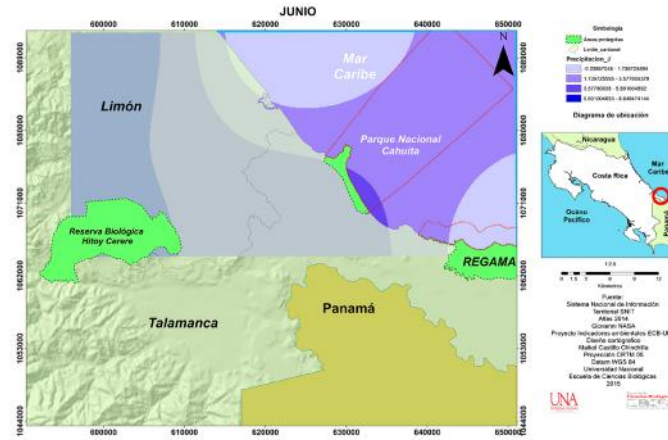
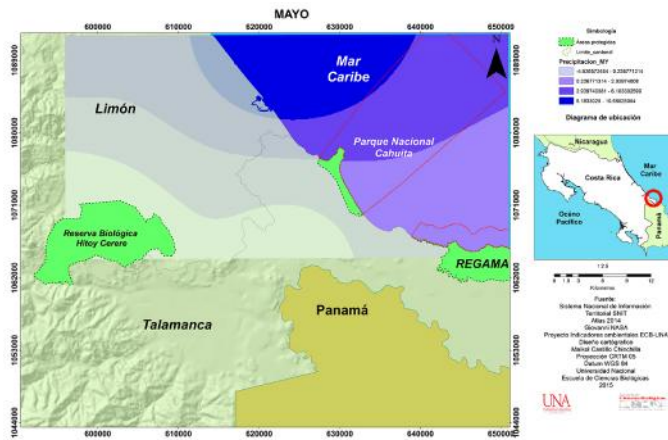


Capítulo II

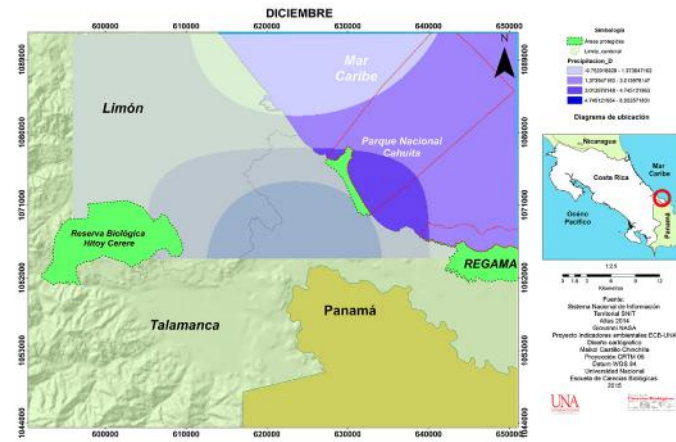
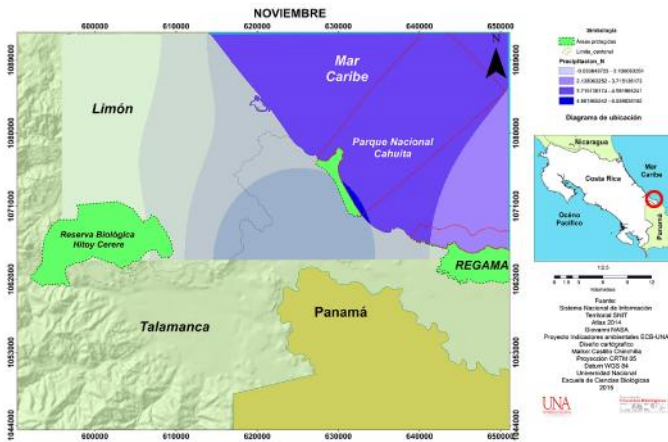
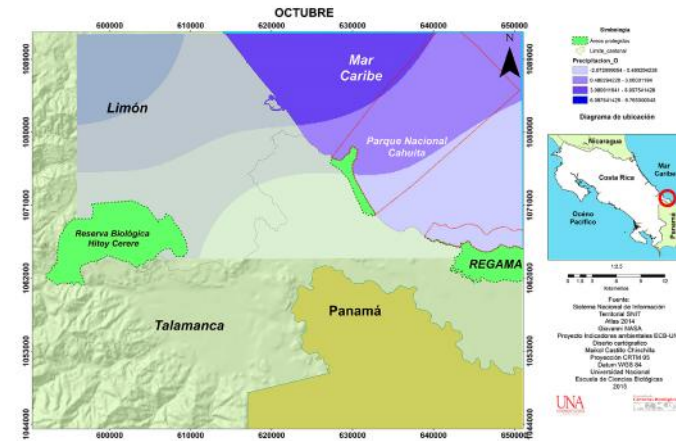
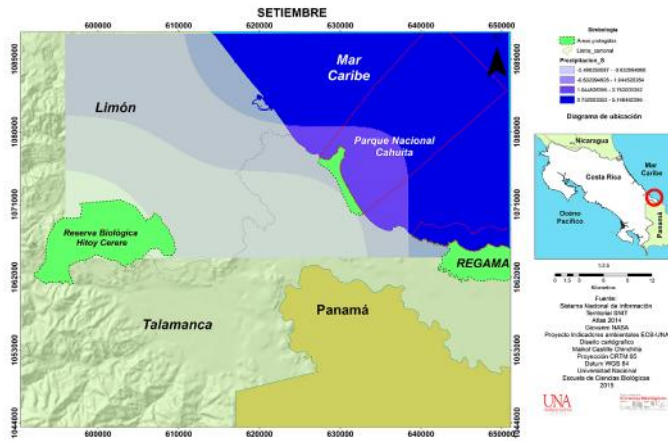
Anexo 3. Diferencias mensuales de la variable precipitación mensual para los meses de enero, febrero, marzo y abril para los años 2003 y 2013 en el área de estudio



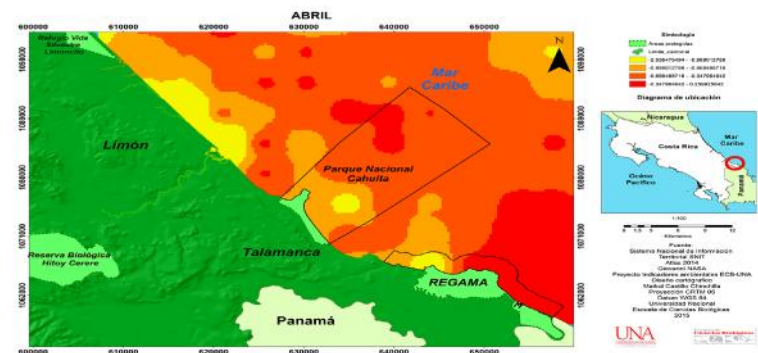
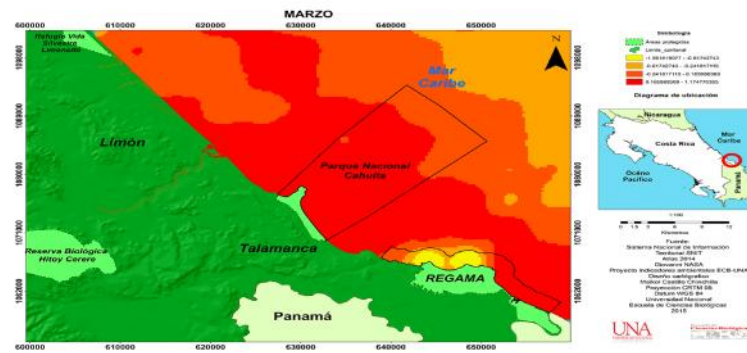
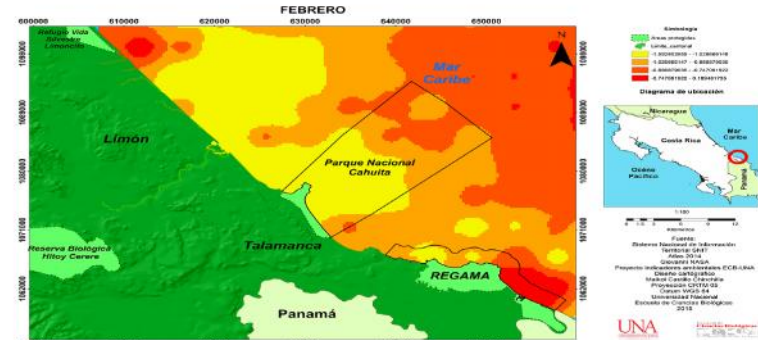
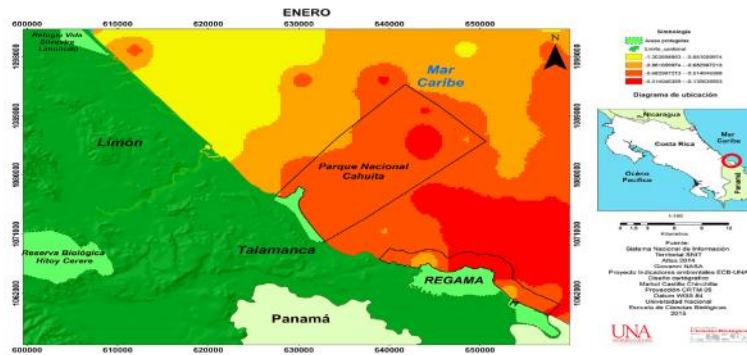
Diferencias mensuales de la variable precipitación mensual para los meses de mayo, junio, julio y agosto para los años 2003 y 2013 en el área de estudio



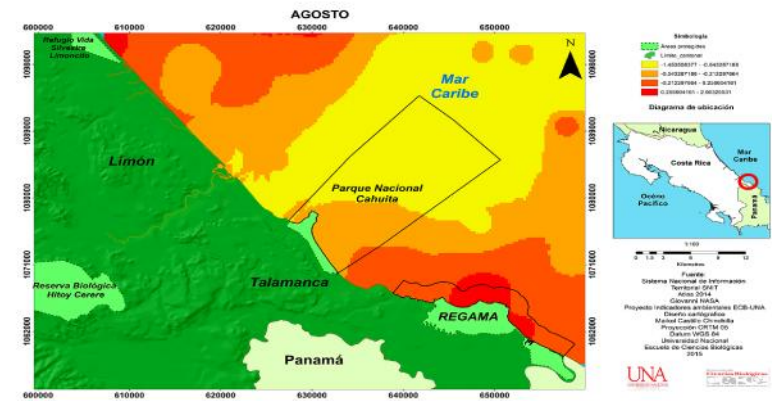
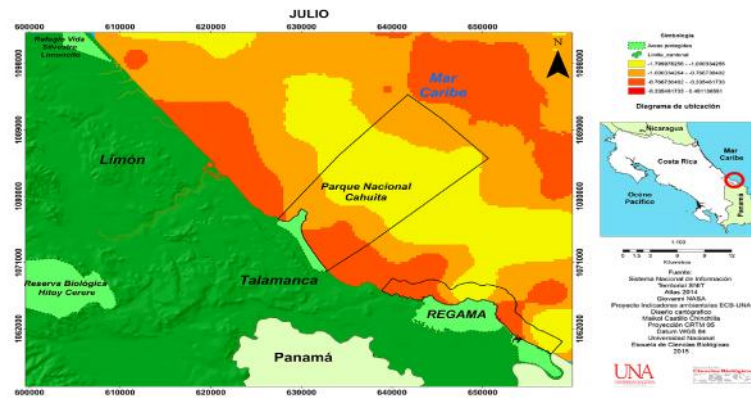
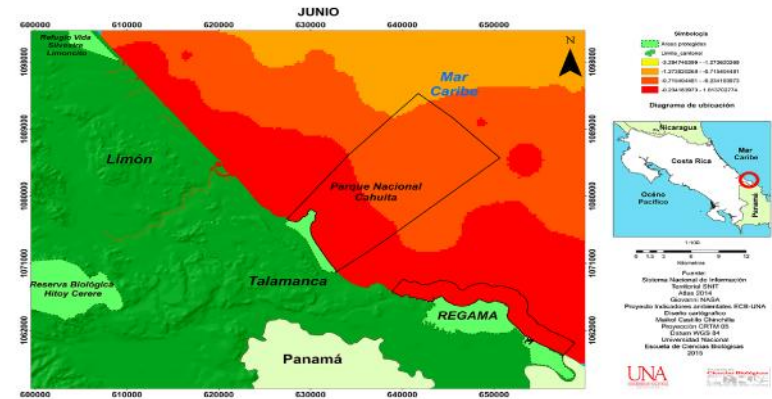
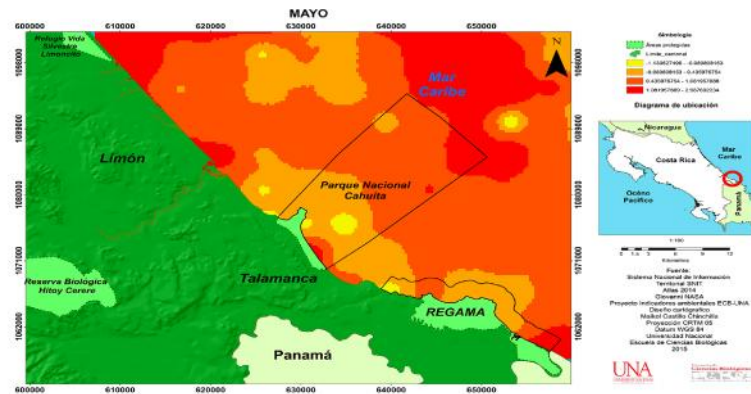
Diferencias mensuales de la variable precipitación mensual para los meses de setiembre, octubre, noviembre y diciembre para los años 2003 y 2013 en el área de estudio



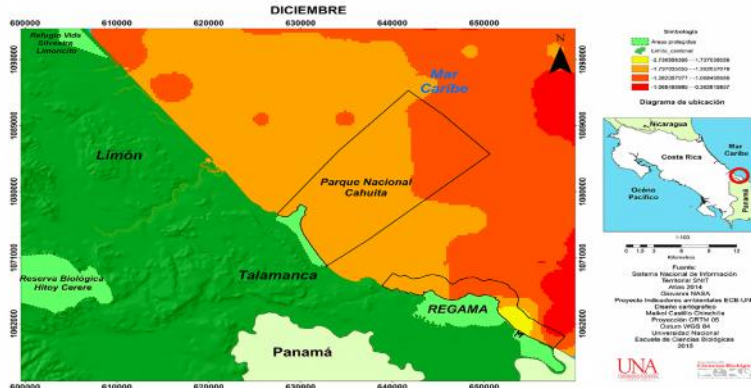
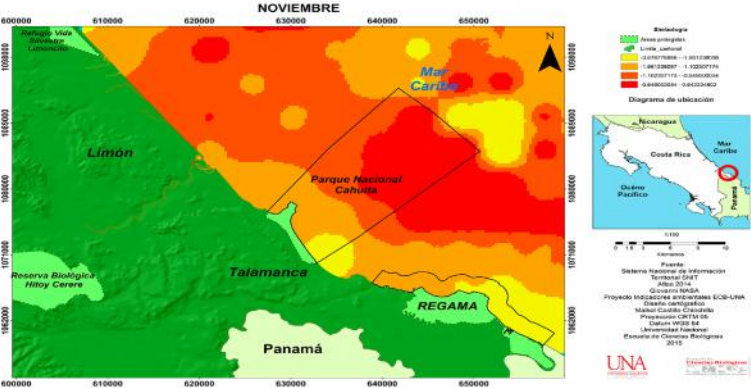
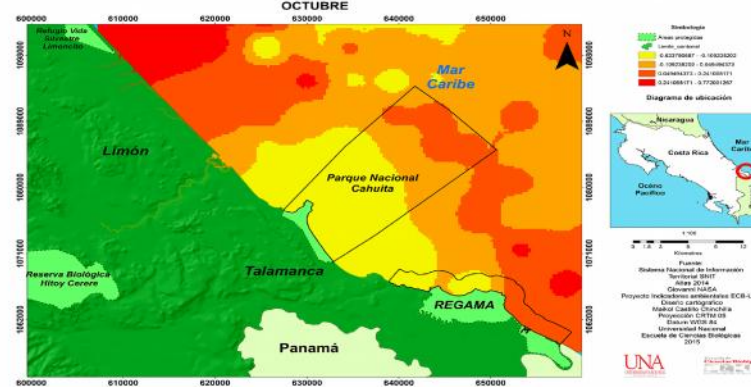
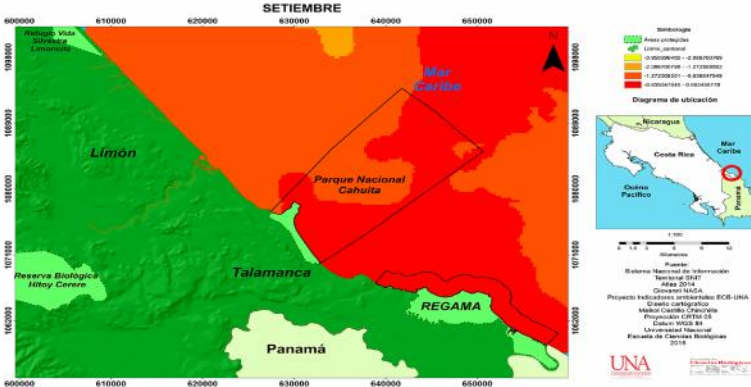
Anexo 4. Diferencias mensuales de la variable temperatura superficial del mar (TSM) para los meses de enero, febrero, marzo y abril para los años 2003 y 2013 en el área de estudio



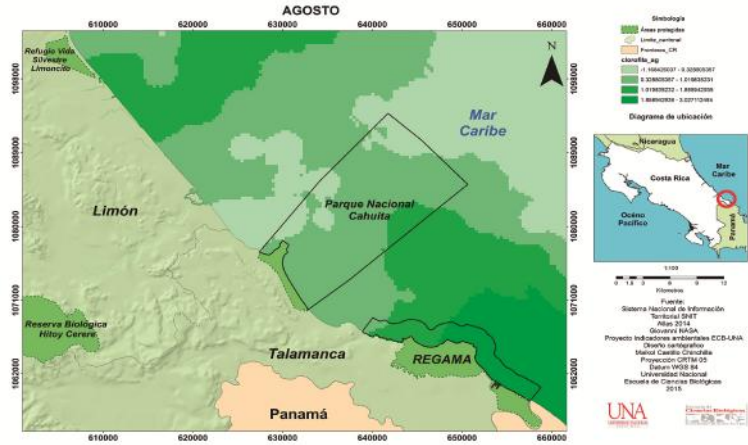
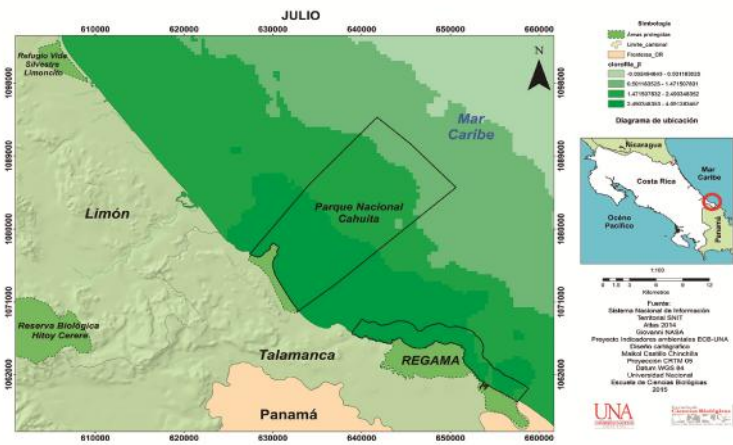
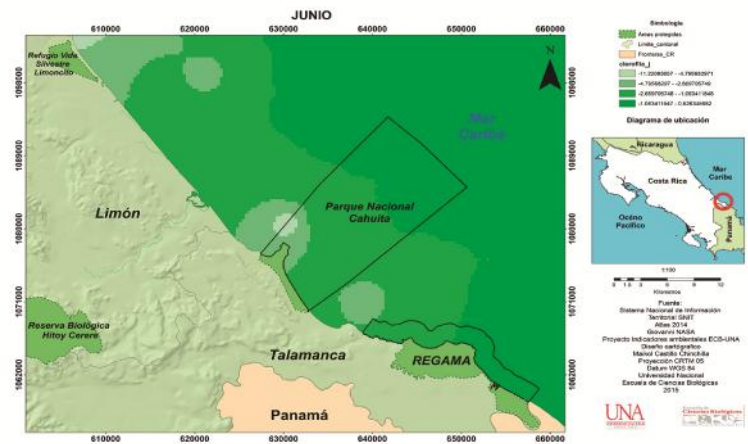
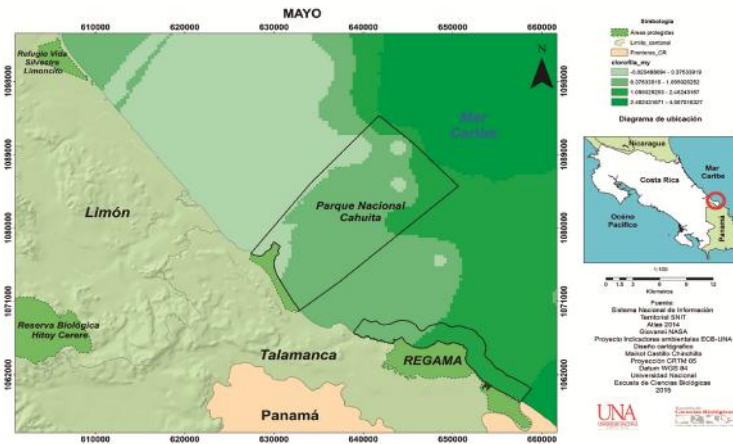
Diferencias mensuales de la variable temperatura superficial del mar (TSM) para los meses de mayo, junio, julio y agosto para los años 2003 y 2013 en el área de estudio



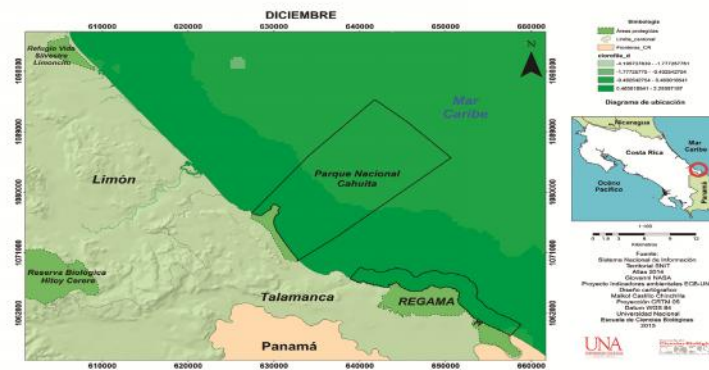
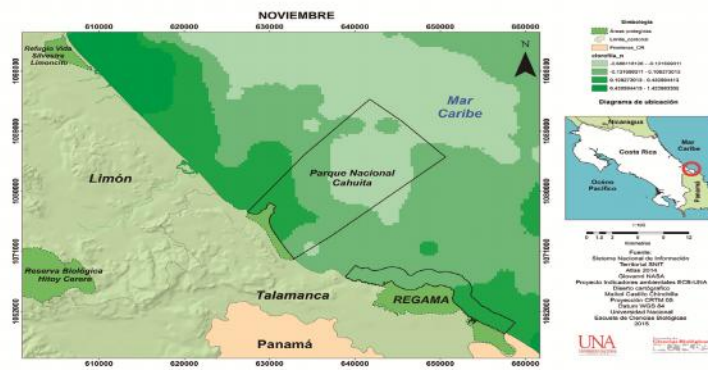
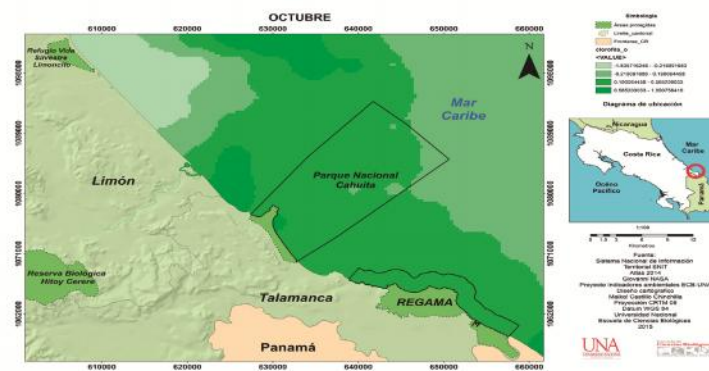
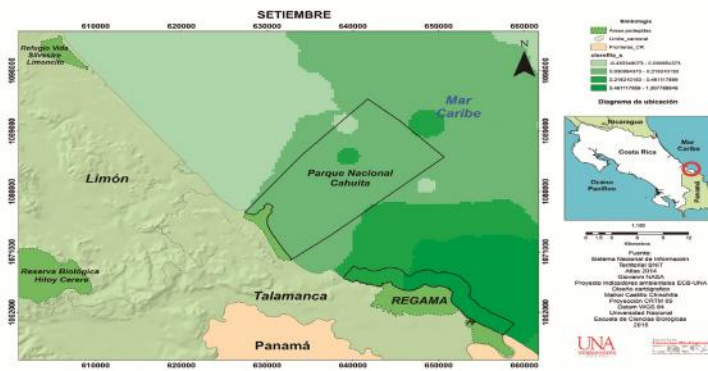
Diferencias mensuales de la variable temperatura superficial del mar (TSM) para los meses de setiembre, octubre, noviembre y diciembre para los años 2003 y 2013 en el área de estudio



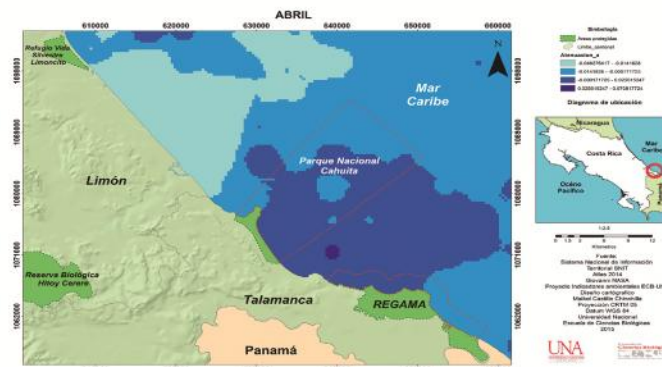
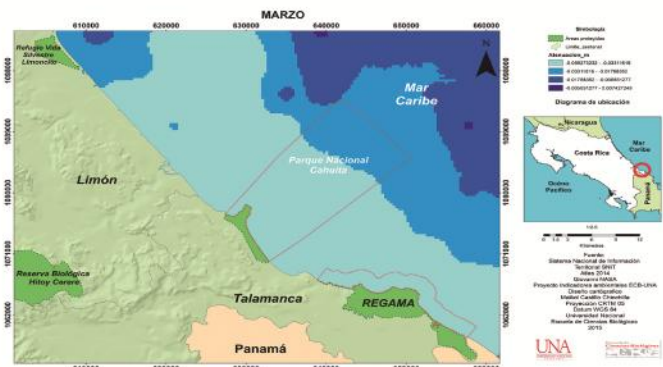
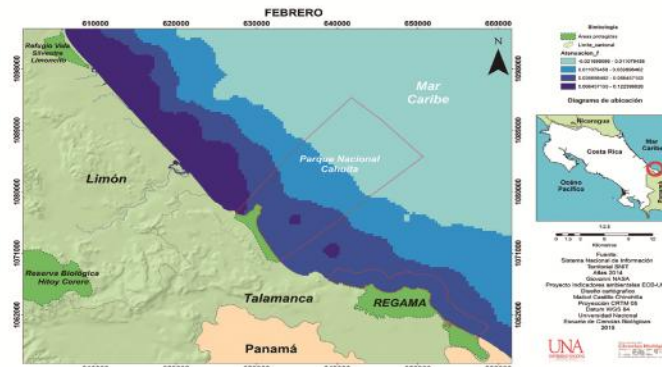
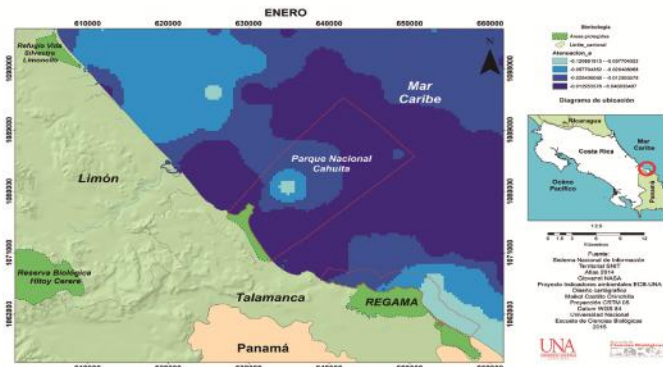
Diferencias mensuales de la variable clorofila a (Chl a) para los meses de mayo, junio, julio y agosto para los años 2003 y 20013 en el área de estudio



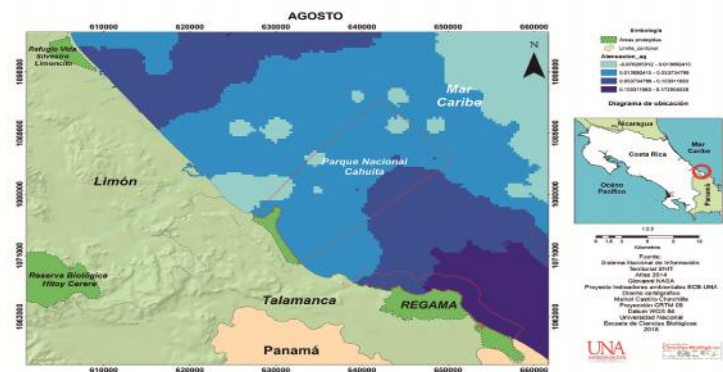
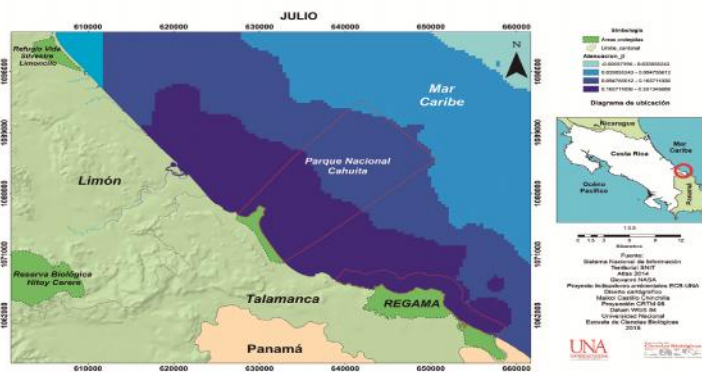
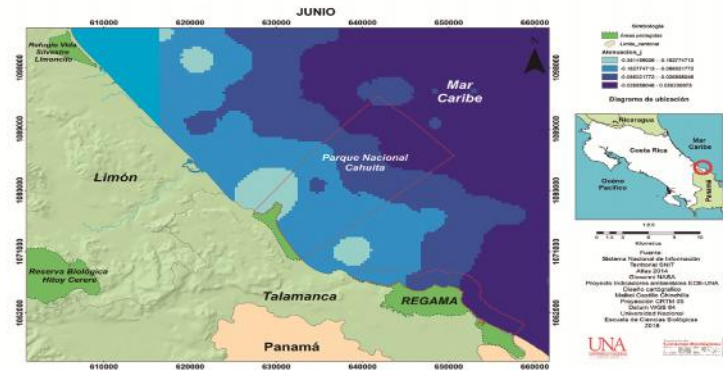
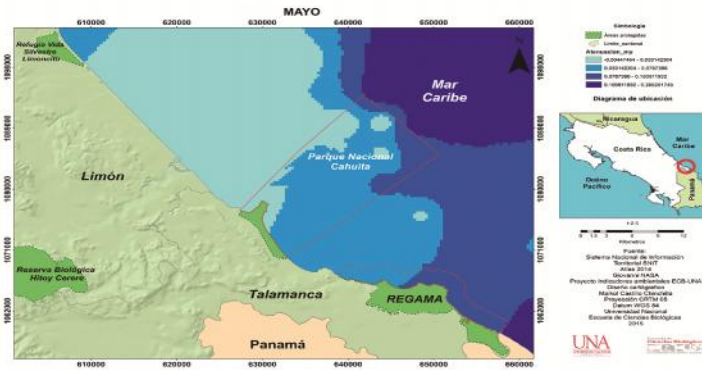
Diferencias mensuales de la variable clorofila a (Chl a) para los meses de setiembre, octubre, noviembre y diciembre para los años 2003 y 2013 en el área de estudio



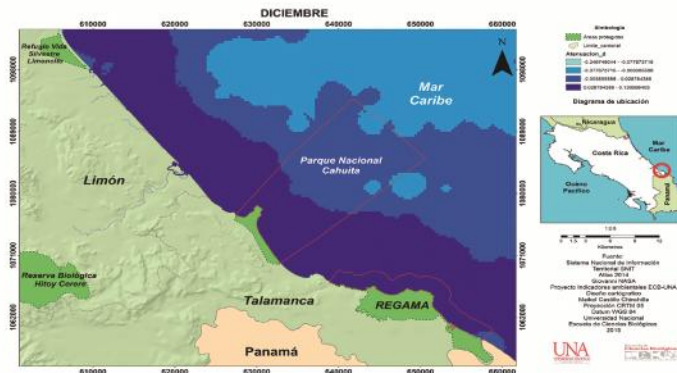
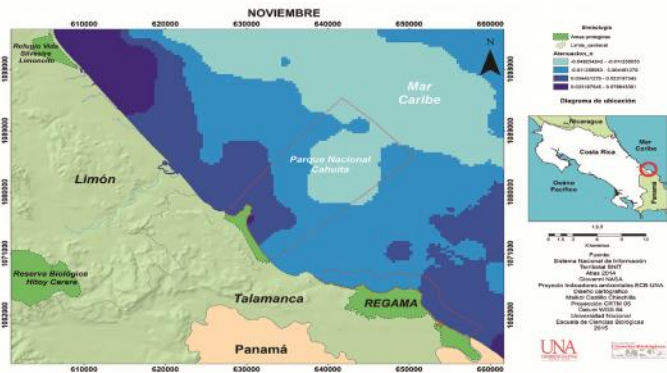
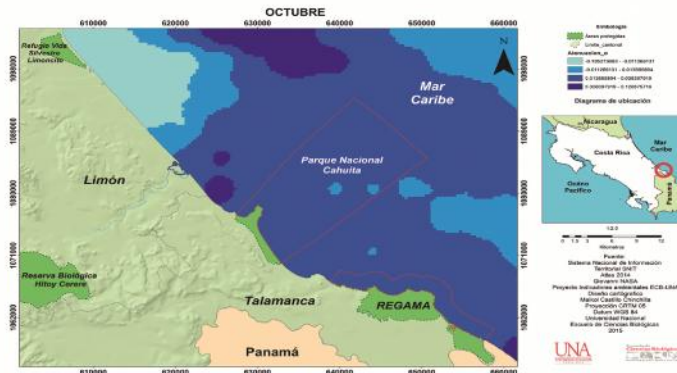
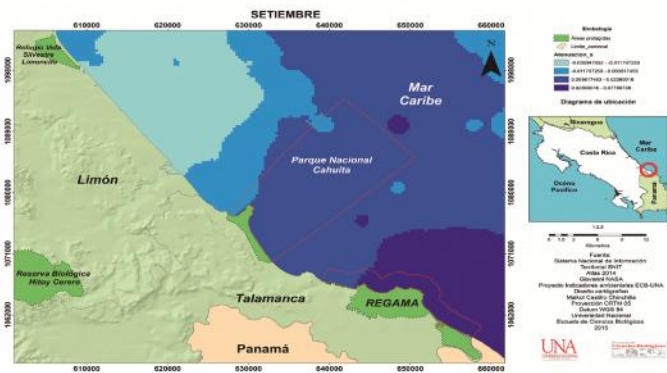
Anexo 6. Diferencias mensuales de la variable atenuación difusa (K490) (CAD) para los meses de enero, febrero, marzo y abril para los años 2003 y 2013 en el área de estudio.



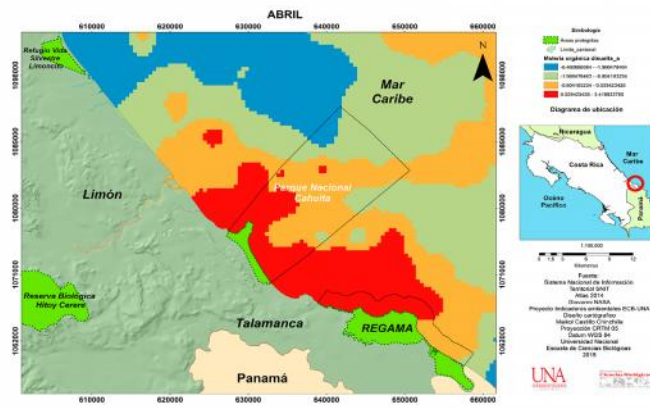
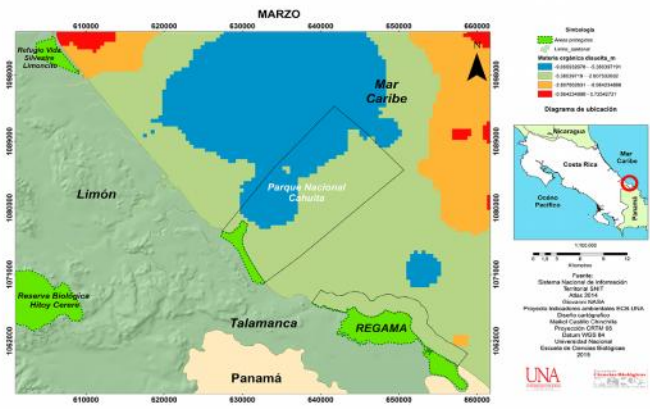
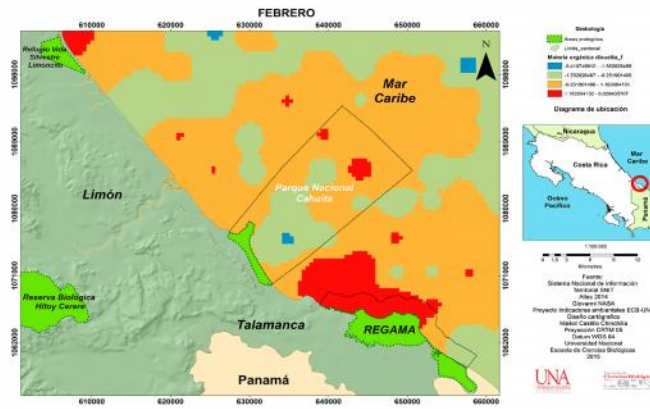
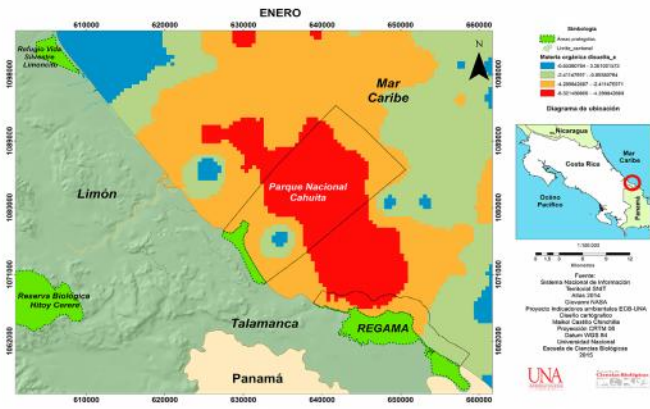
Diferencias mensuales de la variable atenuación difusa (K490) (CAD) para los meses de mayo, junio, julio y agosto para los años 2003 y 2013 en el área de estudio



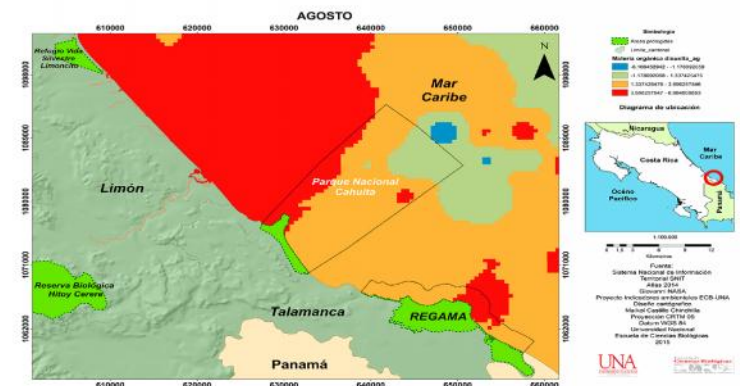
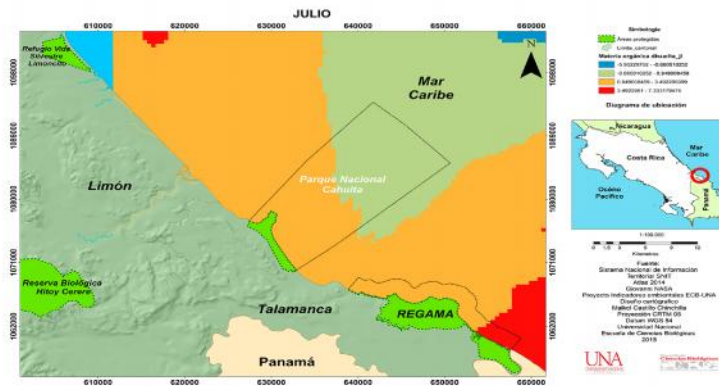
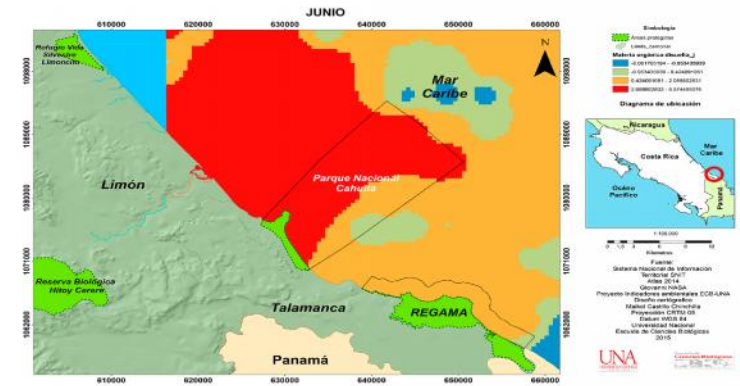
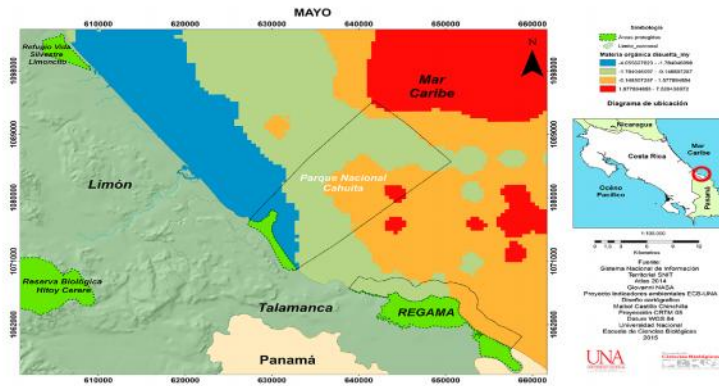
Diferencias mensuales de la variable atenuación difusa (K490) (CAD) para los meses de setiembre, octubre, noviembre y diciembre para los años 2003 y 20013 en el área de estudio



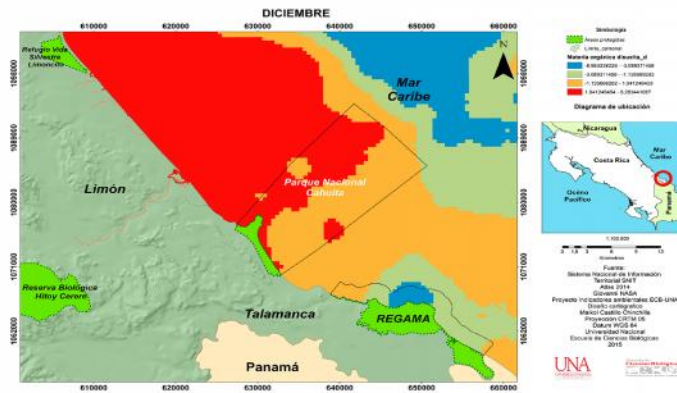
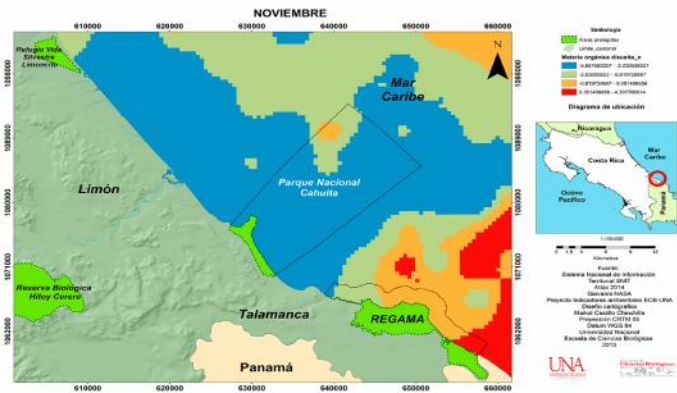
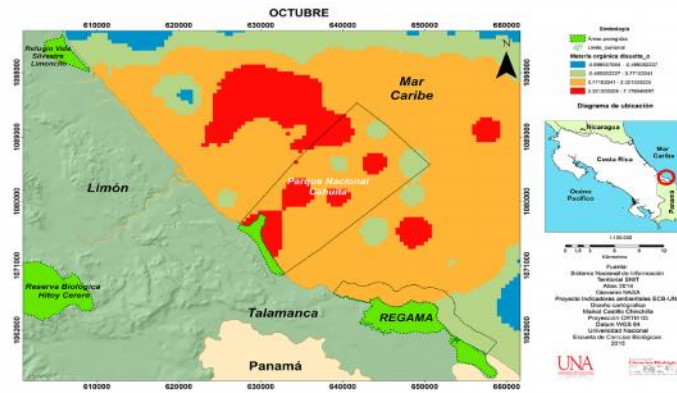
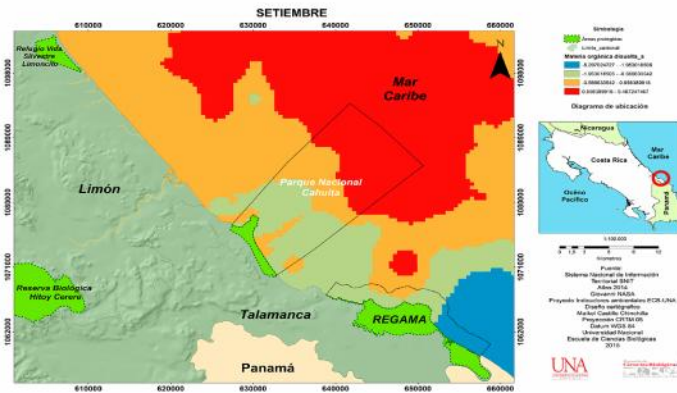
Anexo 7. Diferencias mensuales de la variable materia orgánica disuelta (MOD) para los meses de enero, febrero, marzo y abril para los años 2003 y 2013 en el área de estudio



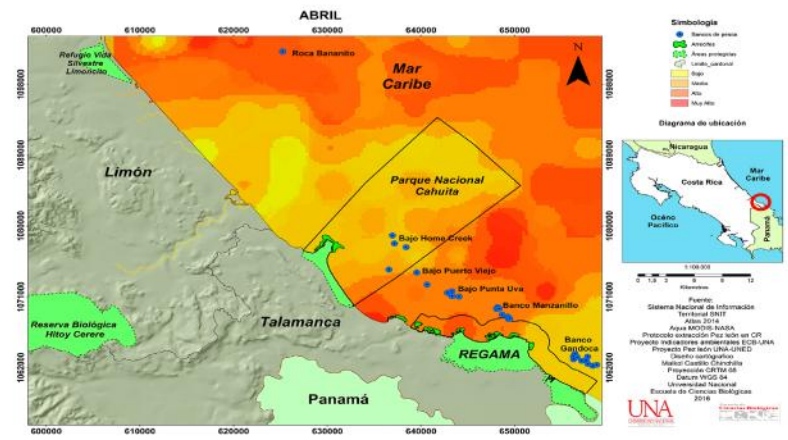
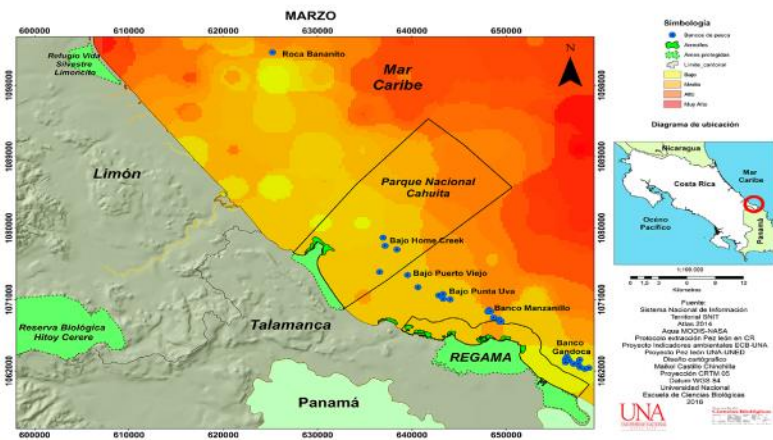
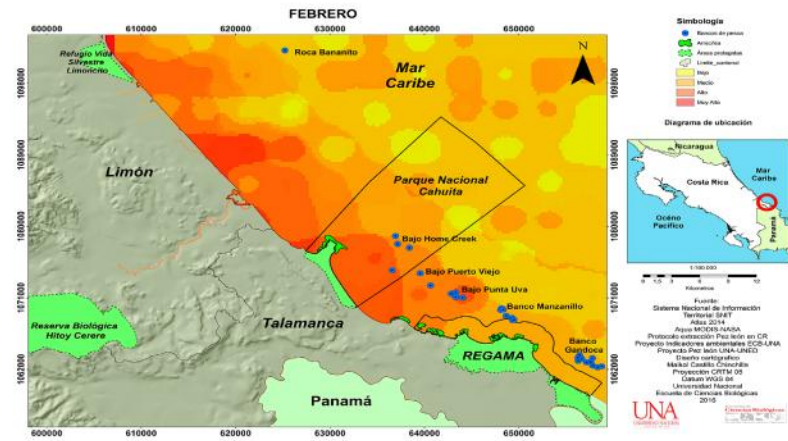
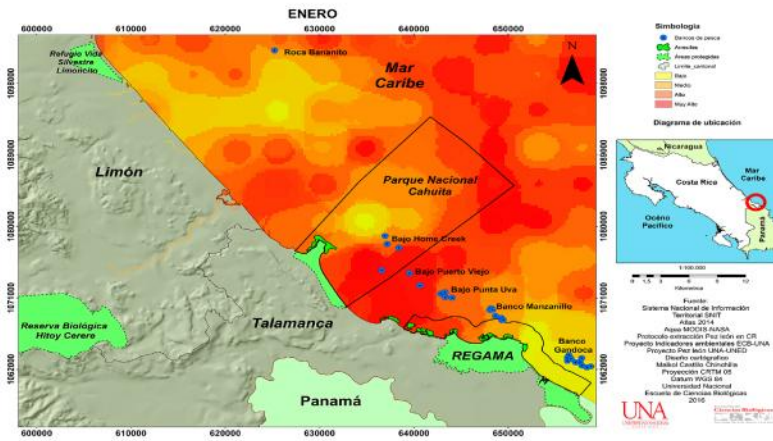
Diferencias mensuales de la variable materia orgánica disuelta (MOD) para los meses de mayo, junio, julio y agosto para los años 2003 y 2013 en el área de estudio



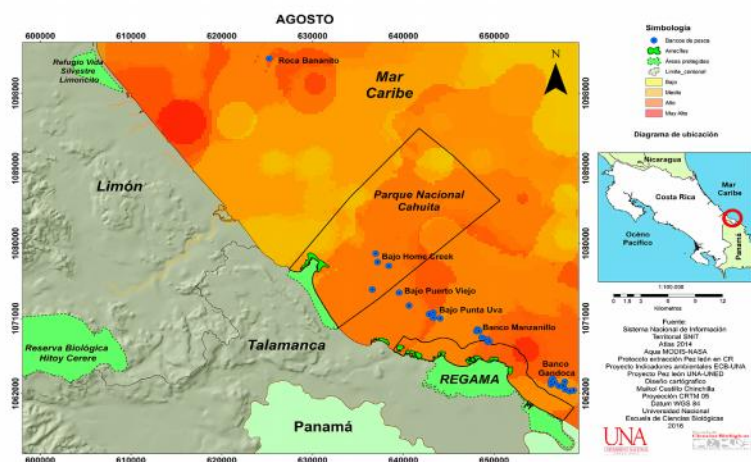
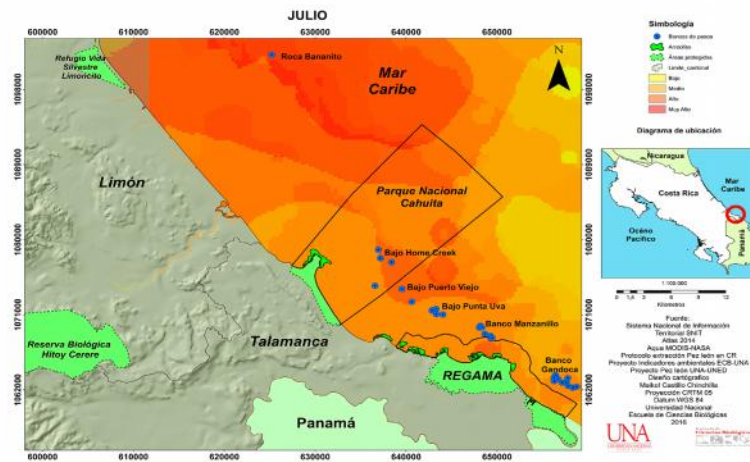
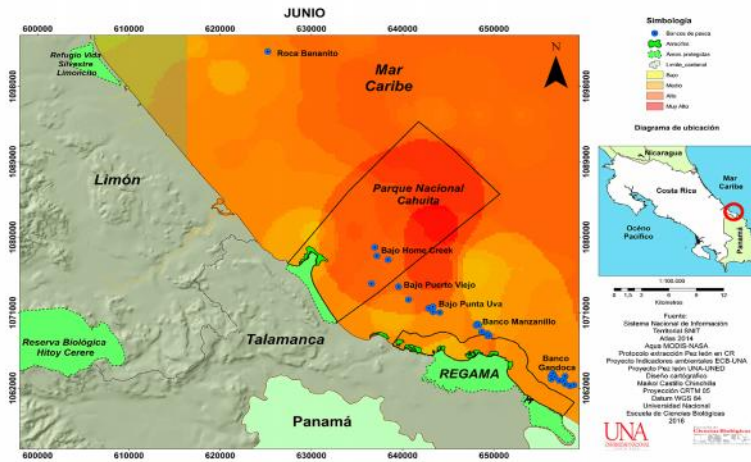
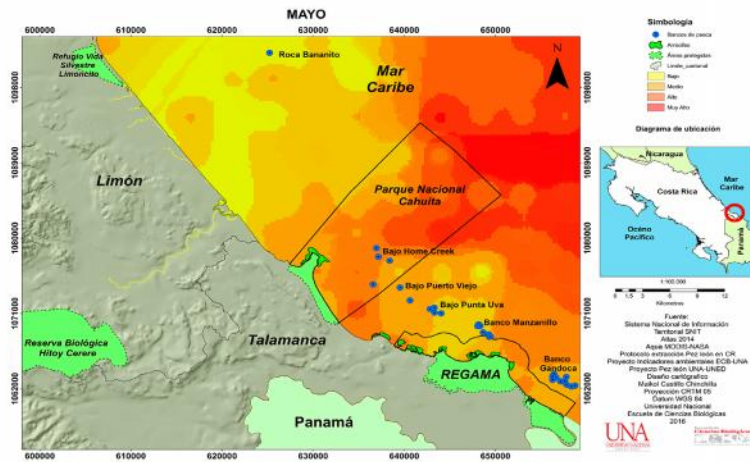
Diferencias mensuales de la variable materia orgánica disuelta (MOD) para los meses de setiembre, octubre, noviembre y diciembre para los años 2003 y 20013 en el área de estudio



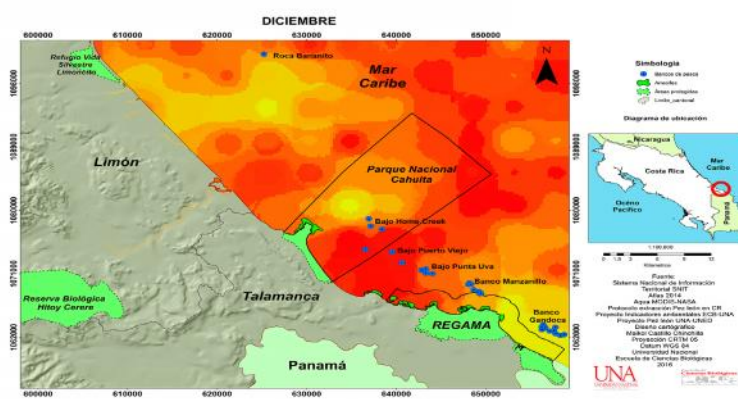
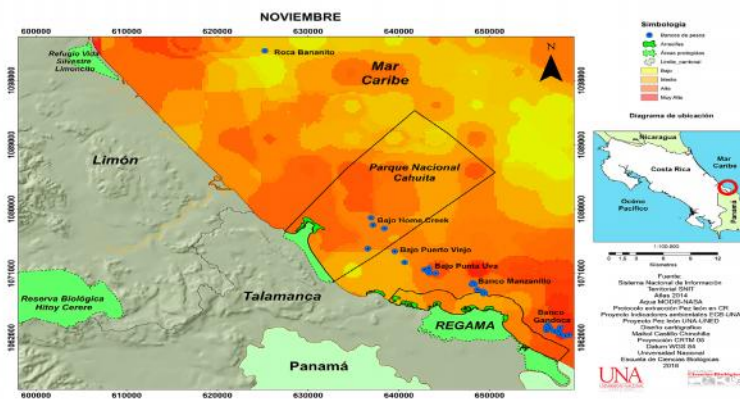
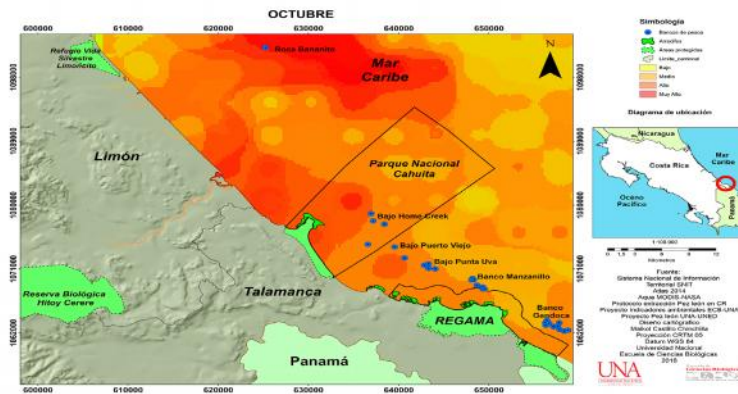
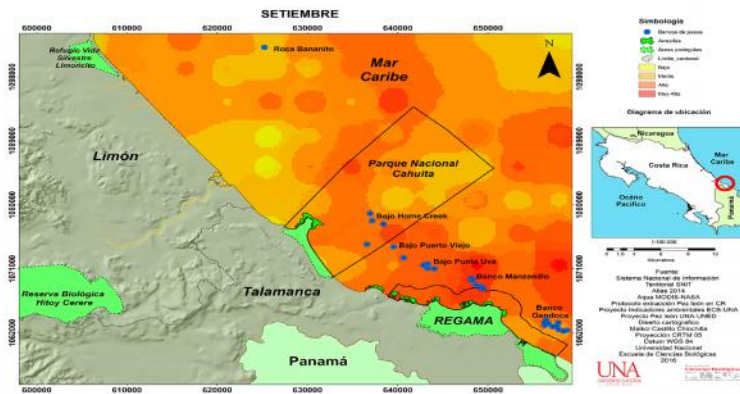
Anexo 8. Diferencias mensuales de la combinación de condiciones biofísicas del mar para los meses de enero, febrero, marzo y abril para los años 2003 y 2013 en el área de estudio



Diferencias mensuales de la combinación de condiciones biofísicas del mar para los meses de mayo, junio, julio y agosto para los años 2003 y 20013 en el área de estudio



Diferencias mensuales de la combinación de condiciones biofísicas del mar para los meses de setiembre, octubre, noviembre y octubre para los años 2003 y 20013 en el área de Estudio

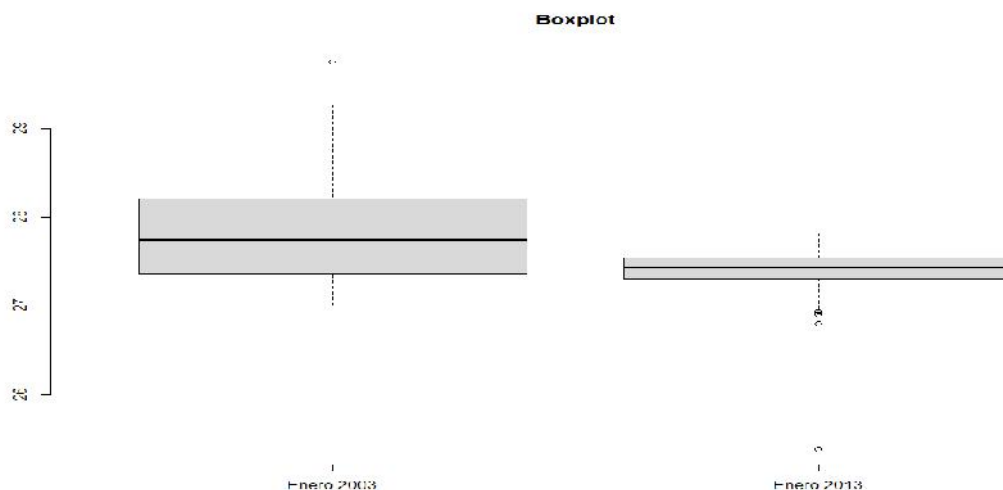


Anexo 9. Prueba de Mann-Whitney comparación entre promedios de temperatura.

Periodo	Mann-Whitney (Wilcoxon) W-test	p value	Dif. significativa
ENERO 01-13	238436	p<0.05	Si
FEBRERO 01-13	240960	p<0.05	Si
MARZO 01-13	162497	p<0.05	Si
ABRIL 01-13	206520	p<0.05	Si
MAYO 01-13	53324	p 0.05	No
JUNIO 01-13	4965	p<0.05	Si
JULIO 01-13	18902	p<0.05	Si
AGOSTO 01-13	12955,5	p<0.05	Si
SEPTIEMBRE 01-13	34790	p<0.05	Si
OCTUBRE 01-13	13598,5	p<0.05	Si
NOVIEMBRE 01-13	211120	p<0.05	Si
DICIEMBRE 01-13	224243	p<0.05	Si

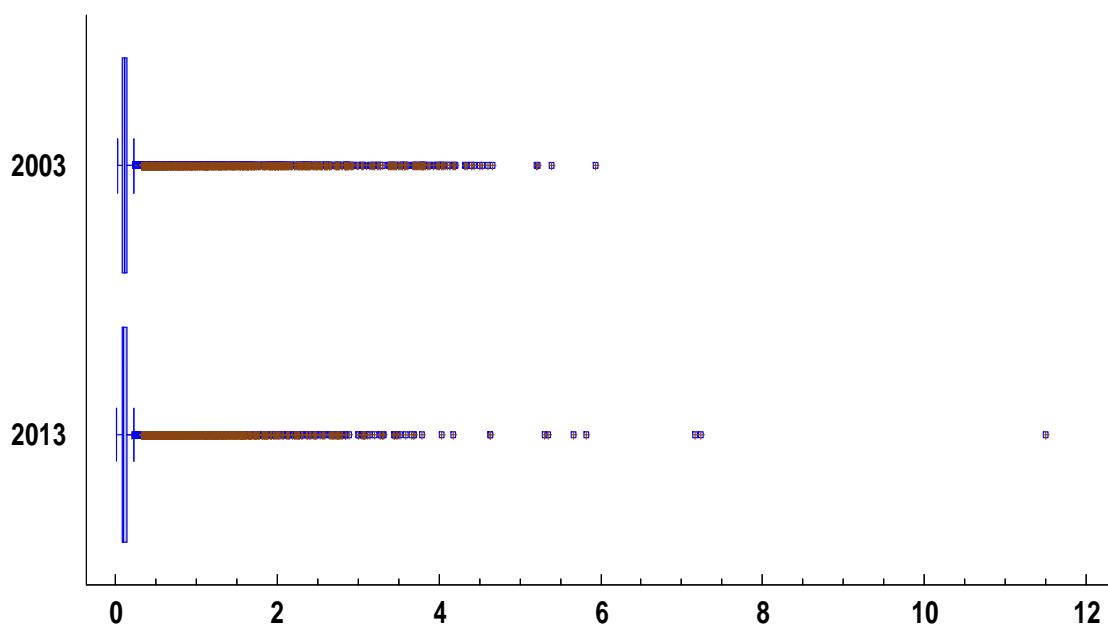
Anexo 10. Prueba de test pareado de Wilconson para las diferencias de la TSM del 2003 y 2013 en el área de estudio

Test pareado de Wilconson	
W=	84910
P-value	2,20E-16
R/	Diferencias significativas



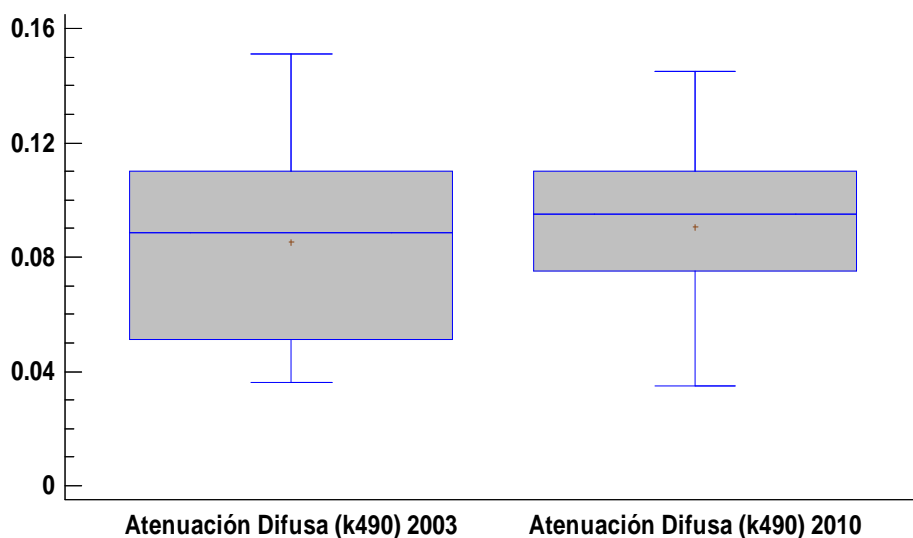
Comparación de concentración de clorofila “a” (mg/m³) entre años, en un área del Caribe Sur de Costa Rica. Satélite a 4Km. Misión AQUAMODIS (Prueba de Mann-Whitney).

Anexo 11. Resumen de estadísticas prueba de comparación de medias t student del coeficiente de atenuación difusa (K490-CAD) (m^{-1})



	<i>Atenuación 2003</i>	<i>Atenuación 2010</i>
Conteo de datos	26	26
Promedio	0,0850769	0,0904231
Desv. St	0,0332529	0,0283791
Coef Variación	39,0857%	31,3848%
Min	0,036	0,035
Max	0,151	0,145
Rango	0,115	0,11
Std. skewness	0,161697	-0,959875
Std. kurtosis	-1,19631	-0,301501

Anexo 12. Comparación de medias de la atenuación difusa (K490) (CAD) entre el 2003 y el 2013.



Capítulo III

Anexo 13. Encuesta aplicada para la recolección de información sobre usos y ecosistemas

Encuesta

Este cuestionario solicita saber cómo se realiza el cuidado y aprovechamiento, analizar la situación de la misma, y buscar soluciones para el cuidado y mantenimiento de los diferentes ecosistemas. La información es confidencial.

1. Sexo
 1. Masculino
 2. Femenino
2. Edad

<input type="checkbox"/> 30 a 39 años	<input type="checkbox"/> 40 a 49 años	<input type="checkbox"/> 50 a 59 años	<input type="checkbox"/> 60 a 69 años
<input type="checkbox"/> 70 a 89 años	<input type="checkbox"/> 90 a 99 años		
3. ¿Dónde realiza su trabajo?:

<input type="checkbox"/> Pesca	<input type="checkbox"/> Turismo	<input type="checkbox"/> Comerciante
<input type="checkbox"/> Buceo	<input type="checkbox"/> Otros	
- D) Especificar: _____
4. ¿Es usted el principal proveedor (a) de su núcleo familiar?

Anexo 14. Evidencia documental de los procesos de adaptación



Foto 1. Ubicación de rotulación en la zona marítima terrestre.



Foto 2. Infraestructura en la zona pública de la zona marítima terrestre



Foto 3. Equipos básicos para la pesca de subsistencia o comercio a escala local



Foto 4. Carretera construida paralela a la costa ruta Limón Sixaola



Foto 6. Intercambio de información con las comunidades locales