



I.5 ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS

Coordinador líder
Aldo Cróquer

Autor líder
Estrella Villamizar

Autores contribuyentes
María Beatriz Barreto, Sandra Giner, Hedelvy Guada, Rubén Torres, Anaurora Yranzo

Palabras clave: ecosistemas marino-costeros, arrecifes de coral, tortugas marinas, manglares, América del Sur, Venezuela.



Figura I.5.1 Afloramiento arrecifal Refugio de Fauna Silvestre Cuare Edo Falcón, Venezuela, 2013. Fotografía Alicia Villamizar.

Acrónimos

CARICOMP	Caribbean Coastal Marine Productivity
ENSO	El Niño Southern Oscillation / EL Niño Oscilación del Sur
PSU	Practical Salinity Unit (por sus siglas en inglés).
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

I.5.1 Introducción

La ubicación geográfica de Venezuela es privilegiada, ya que, la posición que ocupa, en el extremo más septentrional de América del Sur, le provee, entre otras ventajas, acceso directo a dos cuencas oceánicas, el Mar Caribe al norte y el Océano Atlántico al este. El sistema marino-costero de Venezuela tiene una longitud total de 3964 Km. de los cuales, 814 km constituyen la línea costera del Atlántico Occidental y 2678 km la del Caribe, además de poseer 472 km de línea de costa insular. A lo largo de toda la costa se localizan, de forma interrumpida, una serie de ecosistemas marino-costeros entre los que se encuentran estuarios, lagunas costeras, praderas de hierbas marinas (pastos marinos), plataformas rocosas, acantilados rocosos, comunidades coralinas marginales, mosaicos coralinos (parches) y arrecifes coralinos, litorales arenosos y bosques de manglar. La extensión de la línea costera y la diversidad de ambientes presentes en la misma, ofrecen un gran número y variedad de hábitats disponibles para la flora y fauna marina. Miloslavich *et al.* (2011) señalan que Venezuela es uno de los diez países mega diversos, que alberga una amplia variedad de ecosistemas marinos costeros de la región del Caribe. Por otra parte, todos estos ecosistemas son altamente vulnerables al cambio climático, tal y como lo indican Marrero y Rodríguez-Olarte (2017), quienes atribuyen esta vulnerabilidad, principalmente a la alteración de la frecuencia e intensidad de eventos como tormentas y la variación en el nivel del mar. Por su parte, Turra *et al.* (2013) argumentan que múltiples impactos de origen humano tienen el potencial real de poner en riesgo a los hábitats costeros en América Latina. De hecho, ya se han registrado cambios importantes en la composición y distribución de muchos de estos hábitats (Martins *et al.*, 2012), especialmente en el este del Caribe y en gran parte de todo el continente americano (Halpern *et al.*, 2008).

Entre los principales problemas relacionados indirectamente con el cambio climático, de los cuales se tienen evidencias, están: el incremento sostenido de la temperatura de los océanos, la acidificación de los océanos y el incremento en la frecuencia de los eventos extremos (IPCC, 2013). El aumento de la temperatura de los océanos repercute negativamente en ecosistemas mega-diversos como los arrecifes de coral, principalmente debido al blanqueamiento y las enfermedades en corales (Wilkinson & Souther, 2008), además de producir cambios en la estructura y función de las macroalgas y de los bosques de laminariáceas o *kelp forests* (Wernberg *et al.*, 2010, 2011), e incrementar la probabilidad de ocurrencia de explosiones poblacionales de algas tóxicas (Turra *et al.*, 2013). La acidificación no sólo está afectando a los campos de rodolitos a lo largo de la costa de Brasil (Amado-Filho *et al.*, 2012) sino también a la calcificación de organismos calcificadores como gasterópodos, ostras y mejillones, con las consecuentes repercusiones potenciales sobre las actividades de acuicultura y seguridad alimentaria (Turra *et al.*, 2013). El incremento en la frecuencia de eventos extremos como ciclones (Emanuel, 2005), impacta los hábitats costeros, particularmente las costas del Atlántico

suroriental. Adicionalmente, el rápido incremento en el nivel del mar puede tener impactos sobre los intervalos de distribución latitudinal de los ecosistemas marinos y costeros, la biodiversidad asociada y las sociedades humanas que dependen directa o indirectamente de ellos (Harley *et al.*, 2006). Debido a la creciente preocupación sobre los posibles efectos del cambio climático en los ecosistemas marinos y costeros de la región, esta revisión tiene por objeto identificar las investigaciones que muestren evidencias del mismo y detectar las brechas de información que es necesario atender, para lograr un mejor entendimiento del impacto del cambio climático sobre los sistemas marino-costeros del país.

I.5.2 Revisión bibliográfica y consulta a expertos: búsqueda de evidencias

Se realizó una revisión utilizando las bases de datos electrónicas *Google Scholar* (GS), *WSN* (*Web science of knowledge*) *Pub Med* (PM), *Scopus* (SCP) y buscadores en las bibliotecas de las universidades de Venezuela. Se incluyeron trabajos publicados en revistas arbitradas, tesis, resúmenes y presentaciones en congresos nacionales e internacionales, trabajos de grado e informes técnicos desde el año 2000 hasta el presente. La búsqueda se condujo utilizando las palabras claves generales (e.g. cambio climático, ecosistemas marinos, Venezuela) o específicas, en las que se resalta el efecto buscado y/o el ecosistema investigado (e.g., nivel del mar, calentamiento, temperatura agua, pH, acidificación, arrecifes de coral, playas, arenosas, rocosas, macroalgas, fitoplancton, zooplancton, foraminífera, rodolitos, sumideros de carbono costeros, manglares, herbazales costeros, hiposalinidad, etc.) en inglés y español. El otro método de búsqueda incluyó la evaluación del objetivo explícito; sin embargo, no se realizó ninguna evaluación sobre la pertinencia del diseño experimental para llegar a las conclusiones presentadas en cada trabajo. No se incluyeron en la revisión: documentales, entrevistas, blogs, páginas electrónicas personales, ni de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. La otra metodología utilizada fue la consulta directa a algunos científicos venezolanos expertos en las distintas comunidades marinas y su flora y fauna respectivas, quienes realizaron la revisión sobre sus temas.

I.5.3 Resultados

Se encontraron un total de 30 trabajos en los que se evaluó explícitamente los efectos del cambio climático sobre ecosistemas marinos-costeros de Venezuela para un período particular. Del total de estudios encontrados, en el 48% se afirma que el cambio climático tiene algún efecto sobre los ecosistemas marinos-costeros evaluados y/o las comunidades biológicas asociadas. En el resto de los estudios, se supone que el cambio climático tiene efectos porque se registraron cambios físico-químicos o biológicos en los sistemas investigados. Estos cambios se atribuyeron al cambio climático bien sea arbitrariamente y/o basándose en referencias, pero no en conclusiones derivadas de la

1.5 utilización de herramientas de diseño experimental que permitirían separar diversos factores (independientes del cambio climático) capaces de impulsar cambios en el ambiente físico y el componente biológico asociado. En otros trabajos revisados, no se llegó a concluir que el cambio climático tiene efectos sobre los ecosistemas marinos-costeros, o comunidades evaluadas, pero se reconoce que las herramientas metodológicas empleadas sirven para establecer relaciones causa-efecto entre los cambios en los sistemas biológicos y las anomalías climáticas.

Con respecto a los objetivos de los trabajos, en la mayoría de los casos se estudiaron los efectos del calentamiento del océano, de eventos extremos y del cambio del nivel del mar sobre los sistemas marinos, dejando por fuera, otra gama de eventos que pueden ser resultado de cambios en el sistema climático (e.g. acidificación del océano). La ausencia de evidencias contundentes puede estar relacionada con vacíos de información en el monitoreo a largo plazo de los sistemas marinos y costeros en Venezuela, aunque existen algunas excepciones, tales como el programa *Caribbean Coastal Marine Productivity* (CARICOMP)(Bone *et al.*, 2001) y los programas de investigación de la fosa de Cariaco (Serie de tiempo oceanográfica Cariaco); ambos estudios están focalizados en áreas muy particulares, que no cubren la totalidad del territorio marino-costero de Venezuela, ni la diversidad de sistemas marinos y costeros que se pueden encontrar en la línea costera y el territorio oceánico nacional.

I.5.4 Casos especiales: Eventos climáticos recientes con mayor impacto en los sistemas marino-costeros de Venezuela.

La mayor parte de los estudios se concentraron en la Fosa de Cariaco, en ecosistemas marinos ubicados principalmente en zonas pelágicas, mientras que los trabajos que muestran algún efecto sobre comunidades marino-costeras que pueden ser atribuidos directamente a cambio climático de manera rigurosa, son más limitados. A continuación, se presentan varios ejemplos concretos.

I.5.4.1 Impacto del calentamiento global sobre los arrecifes coralinos

La literatura muestra que el calentamiento del océano ha impactado históricamente uno de los ecosistemas marinos más relevantes de Venezuela, en términos de la biodiversidad que alberga y los bienes y servicios que ofrece: estos son los arrecifes de coral. En Venezuela la distribución de estos sistemas es restringida. La mayor parte de los arrecifes continentales se encuentran localizados en el estado Falcón (Parque Nacional Morrocoy), los estados Carabobo (Parque Nacional San Esteban, y Aragua (Ciénaga de Ocumare y algunas bahías como Yapascua). Existen además comunidades coralinas dispersas (marginales) a lo largo de la costa central y occidental de Venezuela (e.g. Chichiriviche de la costa, península de Paraguaná), en los estados Nueva Esparta (Isla de Coche y Cubagua), Anzoátegui (Parque Nacional Mochima) y Sucre (Península de Paria). Por otra parte, existen

mayores desarrollos arrecifales en las islas que constituyen el Territorio Insular Francisco de Miranda (Archipiélago de las Aves, Archipiélago de Los Roques y La Orchila), así como en la isla La Tortuga.

Se conoce que el blanqueamiento coralino (disrupción de la simbiosis zooxantela-coral) es generalmente desencadenado por el calentamiento anómalo de las masas de agua; y sus efectos sobre los principales constructores de arrecifes (corales pétreos) se encuentran bien documentados (Hoegh-Guldberg, 1999; Hoegh-Guldberg & Bruno, 2010). En las [figuras I.5.2 y I.5.3](#) se muestran panorámicas de arrecifes sin blanqueamiento y con blanqueamiento y en la [figura I.5.4](#) a colonias de la especie *Meandrina meandrites* en condición normal y blanqueada. Las consecuencias de este fenómeno, que han sido relacionadas con el cambio climático (e.g. frecuencia e intensidad de anomalías térmicas ocasionada por El Niño y la Niña) van desde el incremento de la vulnerabilidad y susceptibilidad a infecciones y enfermedades coralinas (Weil, 2004) y compromiso del éxito reproductivo (Szmant, 1990), hasta la muerte del coral, cuando la anomalía y la condición de estrés es prolongada (Lesser *et al.*, 2007). Las consecuencias del blanqueamiento a escala global son claras, i.e., el deterioro sostenido, pérdida de salud y de áreas coralinas de alto valor económico y ecológico a escala global (Bellwood *et al.*, 2006; Hughes *et al.*, 2010).



[Figura I.5.2](#) Arrecife de Madrisquí en el Parque Nacional Archipiélago Los Roques (PNALR), Venezuela. Fotografía Anaurora Yranzo.

El primer caso de pérdida de cobertura coralina que fue asociada a una anomalía oceanográfica y quizás climática, fue la mortalidad masiva de los arrecifes del Parque Nacional Morrocoy en 1996

I.5 (Laboy-Nieves *et al.*, 1996; Villamizar, 2000). Laboy-Nieves *et al.* (1996), asociaron la mortandad masiva de estos arrecifes a un evento de enfriamiento anómalo de las masas de agua, posiblemente asociado a la surgencia costera combinado con un período de debilitamiento del viento y el descenso de la salinidad, que se combinaron para producir *blooms* de plancton, y una reducción concomitante de los niveles de oxígeno, que terminó sofocando a los organismos bentónicos como los corales. Sin embargo, esta hipótesis no ha sido muy aceptada, aunque no existen datos publicados que sustenten hipótesis alternativas. Previo a este evento, entre los meses de julio y noviembre de 1995, la temperatura de las aguas alcanzó valores muy elevados y se vieron afectadas algunas especies de corales, evidenciando un proceso de blanqueamiento (Villamizar, obs. pers), que probablemente debilitó fisiológicamente a las colonias coralinas y las hizo más vulnerables a la anomalía oceanográfica antes mencionada, que le siguió en enero de 1996.



Figura I.5.3 Arrecife del Archipiélago Los Roques, Venezuela, afectado por blanqueamiento masivo en el año 2010. Fotografía Aldo Cróquer.

Durante las últimas dos décadas, se han registrado en el país dos eventos de blanqueamiento coralino masivo: el evento de 2005 y el evento de 2010. A finales de las décadas de los 80 y 90, también ocurrieron eventos similares (Lang *et al.*, 1992), pero con efectos menos severos. Las consecuencias de los eventos de blanqueamiento del 2005 y del 2010 fueron variables, dependiendo de la localidad. Por ejemplo, en el 2005, gran parte de los arrecifes coralinos del Parque Nacional Morrocoy y de Los Roques se blanquearon, pero se recuperaron eventualmente, sin que el período de estrés terminara en mortalidades masivas (Villamizar *et al.*, 2008; Villamizar *et al.*, 2014).

Lo mismo ocurrió en gran parte de los arrecifes coralinos y comunidades coralinas del oriente de Venezuela (Rodríguez *et al.*, 2010). Sin embargo, en el 2010, el evento de blanqueamiento produjo una elevada mortalidad coralina en algunos arrecifes de Venezuela, entre estos los del Parque Nacional San Esteban (Del Mónaco *et al.*, 2012), y del Parque Nacional Archipiélago Los Roques, este último sin precedentes, reduciendo la cobertura viva en 40-45% en algunos arrecifes del parque (Bastidas *et al.*, 2010). Los efectos a largo plazo de esta mortandad en los arrecifes de Los Roques no han sido determinados; no obstante, inspecciones recientes muestran que la gran mayoría de estos arrecifes fueron afectados (Cróquer *et al.*, datos inéditos). Los efectos negativos de los eventos de blanqueamiento del 2005 y del 2010 fueron registrados a lo largo de todo el Caribe y ambos años fueron reconocidos por la NOAA como los más calientes en las últimas décadas a escala regional (Cróquer *et al.*, 2009; Brand & McManus, 2009; Eakin *et al.*, 2010). Rodríguez *et al.* (2010), Bastidas *et al.* (2010) y Villamizar *et al.* (2014) señalan que la causa de los eventos de blanqueamiento que afectaron a los arrecifes venezolanos se relaciona con períodos prolongados de calentamiento de la columna de agua (atípicos), que han sido asociados a anomalías climáticas.



Figura I.5.4 Colonias de *Meandrina meandrites*. Izq. Colonia con su coloración común, Der. Colonia con blanqueamiento. Fotografía Fundación Científica Los Roques, FCLR.

I.5.4.2 Impacto de la acidificación

Aunque el efecto de la acidificación de los océanos asociado al exceso de emisiones de dióxido de carbono sobre organismos calcificadores, se encuentra bien estudiado, y los mecanismos que conducen a la pérdida de las tasas de calcificación en estos organismos están bien establecidos (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007), en Venezuela los estudios relativos a este tópico se restringen, hasta el presente, a la fosa de Cariaco. En esta zona se han estudiado los cambios en la abundancia de algunos organismos plantónicos calcificadores como los foraminíferos, sin embargo, no se han estimado aún las variaciones en sus tasas de calcificación (e.g. Mutshinda *et al.*, 2013). Se requieren estudios que llenen este vacío en el futuro. Dos áreas coralinas de gran relevancia nacional deberían ser investigadas al respecto. Por una parte, el Parque Nacional Archipiélago Los Roques, por su condición del sistema arrecifal más desarrollado y diverso de nuestro país y, el Refugio de Fauna Silvestre Isla de Aves, territorio insular de suma importancia geopolítica para el país, expuesto al impacto frecuente de huracanes y tormentas, donde una disminución en las tasas de calcificación de los organismos formadores de arrecifes, puede tener consecuencias negativas para la estabilidad de los sedimentos no consolidados que constituyen la Isla, y poner en peligro su permanencia física en el sector centro-oriental del Caribe. La pérdida del territorio emergido de Isla de Aves podría representar para Venezuela una reducción de 165.000 km² de mar territorial y de la zona económica exclusiva.

I.5.4.3 Impacto de eventos extremos

En el 2008, el mayor Velásquez, jefe del Servicio de Meteorología de la Aviación militar venezolana, presentó evidencias históricas del cambio climático en Venezuela, basándose en las variaciones de parámetros meteorológicos como temperatura del aire, intensidad de las precipitaciones y número de días con lluvia, en distintas zonas del país. Sus resultados ponen en evidencia, para la década de los años 90, un aumento de la temperatura promedio, especialmente notorio en la región norte del país, incluida la zona costera. También señaló el desplazamiento de perturbaciones tropicales como los huracanes, indicando una tendencia a formarse con mayor frecuencia por debajo del paralelo 10°N, y acotando que, de seguir este comportamiento, los mismos podrían impactar en forma directa la costa caribeña del país.

Un ejemplo de evento extremo, relacionado a parámetros meteorológicos, es el caso de la condición de hiposalinidad ocurrida a finales de 1996 en varias localidades del Parque Nacional Morrocoy: las intensas precipitaciones de ese año produjeron una baja de salinidad de las aguas marinas del área, que oscilaba entre 1 y 16‰. Esta hiposalinidad condujo a la mortalidad de diversas especies marinas y a la desaparición de lechos de hierbas marinas en varias localidades del parque (Pérez & Galindo, 2000). Sin embargo, de acuerdo a las autoras, a pesar de que los lechos de *Thalassia testudinum* mostraron inicialmente una reacción de estrés (pérdida de biomasa de hojas e incremento de

tejidos muertos) y una recuperación lenta, luego de cierto tiempo (4 años), la tasa de producción de biomasa foliar, productividad y reproducción asexual, superó los valores estimados previos al evento.

El ejemplo más notorio y claro del impacto de eventos climáticos extremos sobre los sistemas marino-costeros en Venezuela está representado por las precipitaciones ocurridas en el Estado Vargas en 1999. Además de haber tenido consecuencias graves en términos de pérdidas de vidas humanas y materiales (según datos oficiales), el deslave produjo una serie de alteraciones en la línea costera del Estado Vargas. Los efectos de esta alteración sobre las comunidades de organismos litorales no fueron cuantificados, o al menos en esta revisión no se encontraron trabajos publicados al respecto. Chollet & Bone (2007) demostraron que los niveles de precipitación de diciembre de 1999 estuvieron por encima de los registrados en los últimos 32 años. Esta pluviosidad extrema ocasionó una disminución en la salinidad del agua en las zonas internas del Parque Nacional Morrocoy que alcanzaron los 3 PSU (Practical Salinity Unit, por sus siglas en inglés), lo que causó eventos de mortandad importantes sobre los pastos marinos y la fauna asociada. Estos autores reportaron que la comunidad de poliquetos asociada a los pastos marinos tuvo una respuesta rápida a este disturbio puntual, recuperándose rápidamente. En Morrocoy, la caída de salinidad produjo una mortandad extensa sobre los organismos sésiles asociados a las raíces de *Rhizophora mangle* (Cróquer, obs. pers.); no obstante, en esta revisión no se encontraron trabajos que evaluaran dicha pérdida y/o la recuperación de estas comunidades incrustantes.

La problemática de los manglares en el país es el resultado del efecto combinado de los impactos derivados de las actividades humanas y de la variabilidad del clima, debido a la frecuencia de eventos ENSO extremos (1990-1994), asociados a sequías severas (hasta 19 meses de sequía). Ambos factores se proponen como la causa de deterioro y mortalidad masiva observada en manglares de la costa caribeña de Venezuela, que crecen bajo condiciones hidroedáficas cercanas al umbral de tolerancia de las especies. Barreto (2008) da evidencias para la localidad del Golfete de Cuare, de impactos que producen modificaciones importantes en la dinámica de estos manglares, entre éstos, cambios en la composición florística y complejidad estructural, así como una disminución del 58% de la cobertura total de estos manglares (Figura I.5.5 y Figura I.5.6). La mortalidad registrada en los manglares del Parque Nacional Morrocoy y Refugio de Fauna Silvestre de Cuare, donde predominan las especies de manglar, *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), debido a la hipersalinización del suelo, promueve la colonización, sobrevivencia y dominancia de *Avicennia germinans* (mangle negro), en las zonas anteriormente dominadas por las otras especies.



Figura I.5.5 Manglar de Caño Pancho, Refugio de Fauna Silvestre de Cuare (RFSC, Estado Falcón, Venezuela). Fotografía María Beatriz Barreto.



Figura I.5.6 Manglar de Boca del Zorro, Parque Nacional Morrocoy (PNM-Estado Falcón, Venezuela). Fotografía Eduardo Barreto.

Es importante resaltar que la condición de áreas protegidas no garantiza la permanencia de los manglares, sólo reduce el daño por impactos directos, como la tala. Por lo tanto, el manejo y recuperación de estas áreas debe incluir aspectos esenciales como la conectividad hidrológica y considerar variables como los cambios en el nivel del mar y del régimen de lluvias, el aumento de la temperatura y de la concentración de CO₂. Por ejemplo, las condiciones de alta salinidad de los suelos intensifican el efecto negativo de las sequías extremas durante los eventos ENSO, e incrementan la vulnerabilidad de estos sistemas. Por otra parte, también se ve alterado el potencial de estos ecosistemas como sumideros de carbono (Barreto, 2016).

I.5.5 Iniciativas que evalúan el efecto del cambio climático sobre algunas especies presentes en hábitats marino-costeros en el país.

I.5.5.1 Vertebrados marino-costeros en peligro de extinción

No se evidencia la existencia de propuestas oficiales de mitigación y adaptación, vinculadas a los vertebrados marino-costeros considerados por la legislación venezolana como en peligro de extinción (y en diversas categorías de amenaza por la UICN) y que utilizan las zonas costeras con fines de alimentación y/o con fines reproductivos, los cuales son: de la familia *Crocodylidae*, el caimán de la costa (*Crocodylus acutus*) y las tortugas marinas de las familias *Cheloniidae* (*Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata*, *Caretta caretta*; vale aclarar que para la *Lepidochelys olivacea* no se ha podido comprobar el desove en el país) y Dermochelyidae (*Dermochelys coriacea*).

Además de las implicaciones obvias de afectación y pérdida de hábitat de anidación para el caimán de la costa y las tortugas marinas, los reptiles mencionados tienen su determinación sexual afectada por la temperatura de incubación, lo cual además hace previsible afectaciones en la proporción sexual de las crías en un escenario de aumento de la temperatura global. La única iniciativa conocida, orientada a evaluar los efectos del cambio climático sobre estas especies, no pudo concretarse debido al fallecimiento del profesor Joaquín Butriago, propulsor y coordinador del proyecto titulado “Identificación y socialización mediante participación comunitaria de posibles efectos del cambio climático en una especie oceánica y costanera en peligro crítico; la tortuga cardón *Dermochelys coriacea* en la península de Paria”. Con relación a esta temática se sugieren cuatro (4) áreas prioritarias de investigación: (1) investigaciones sobre los cambios en los hábitats de anidación disponibles para las tortugas marinas y el caimán de la costa, en las áreas prioritarias para estas especies, tanto en los territorios continentales como insulares, así como el seguimiento de la temperatura de incubación en dichas áreas, (2) el modelado de cambios en la línea costera por el aumento del nivel del mar, (3) el modelado de impactos por eventos climáticos extremos en territorios continentales e insulares y (4) desarrollo de planes de mitigación y adaptación ante el cambio climático en los hábitats de alimentación

y anidación (fanerógamas marinas y playas arenosas) de las distintas especies de tortugas marinas (Figura I.5.7).



Figura I.5.7 Tortuga verde *Chelonia mydas* arribando a playa arenosa del Refugio de Fauna Silvestre Isla de Aves (RFS Isla de Aves, Venezuela). Fotografía Luis Delgado.

I.5.5.2 El caso de la disminución de la pesquería de *Sardinella aurita* (Clupeiformes) en Venezuela y su relación con el calentamiento extremo de las aguas.

Uno de los artículos científicos que mejor muestra la relación entre alteraciones climáticas (debilitamiento anómalo de los vientos Alisios) y sus consecuencias (efecto cascada) sobre la dinámica de comunidades biológicas en ecosistemas marinos de Venezuela es el de Taylor *et al.*, (2012). La publicación se sustenta en la Serie de Tiempo Oceanológica Cariaco, correspondiente al período 1996-2010. Durante década y media se observaron las siguientes condiciones en la Fosa de Cariaco: un incremento en la temperatura de la superficie del agua de $1,0 \pm 0,14^{\circ}\text{C}$; acentuación de la estratificación de las aguas; reducción de nutrientes en la superficie; reducción de los *blooms* de fitoplancton y de la concentración de clorofila a, así como de la productividad primaria neta. Además, se observaron cambios en la composición de especies del fitoplancton y en la dominancia relativa de las especies fitoplanctónicas, lo cual fue muy notorio después del 2004, predominando los taxa más pequeños. Los datos de Cariaco también reflejan un incremento de la biomasa de mesozooplancton y un colapso de la producción de *Sardinella aurita*, especie ictícola que, por sus volúmenes de producción, ha

sido reconocida como el principal recurso pesquero de Venezuela, siendo el oriente del país la región de mayor abundancia del recurso. Taylor *et al.* (2012) realizaron el análisis de datos meteorológicos desde 1996 al 2010. conjuntamente con los resultados fisicoquímicos y biológicos antes mencionados, pudiendo concluir que la alteración del proceso de surgencia costera que regularmente ocurre en esta región del país, era producto de la historia reciente de calentamiento debido al cambio climático, como resultado de la expansión de la circulación de las *células de Hadley* en las últimas décadas.

De acuerdo con Gómez-Gaspar *et al.* (2012, 2014) la disminución de la fertilidad en las aguas del oriente del país y en particular el decrecimiento poblacional severo de las diatomeas a partir del año 2005, debido a la ausencia de surgencia costera, es la causa de la drástica disminución de *S. aurita* (Figura I.5.8).

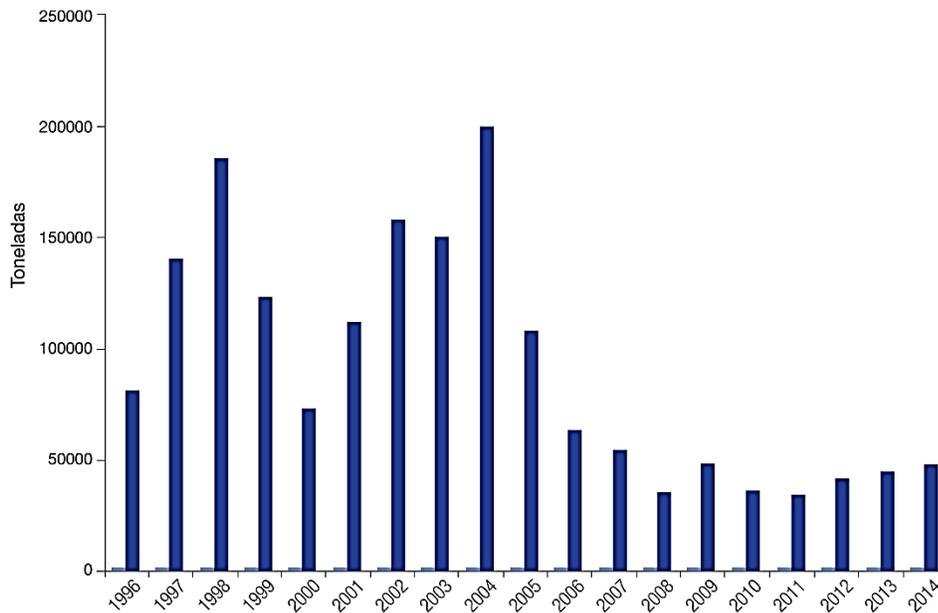


Figura I.5.8 Gráfica de producción pesquera (toneladas) de *Sardinella aurita* durante un período de 18 años. Se muestra el colapso a partir del año 2005. Figura elaborada con datos de INSOPESCA.

I.5.5.3 Otras especies (aves) de hábitats marino-costeros

No se han hecho estudios dirigidos a evaluar la afectación de las aves de ambientes marino-costeros debido al cambio climático en nuestro país, por lo que no se tienen evidencias al respecto. Las principales perturbaciones que originarían las alteraciones climáticas serían sobre los hábitats que las aves utilizan, muy especialmente los manglares. Se prevé, que las especies asociadas estrechamente al hábitat de manglar, como por ejemplo, *Rallus wetmorei*, conocida como polla de mangle (endémica), así como *Laterallus levraudi*, pudieran verse muy afectadas (Rodríguez *et al.*, 2004). También las especies que anidan en el suelo, entre la vegetación costera, escombros coralinos y arena, tales como los pájaros

bobos, gaviotas (Figura I.5.9) y playeros (Figura I.5.10), pueden ser afectadas por el incremento del nivel del mar, procesos erosivos y la pérdida de cobertura vegetal.



Figura I.5.9 Aves playeras, "Playeritas", en el Parque Nacional Archipiélago Los Roques (PNALR, Venezuela). Fotografía Estrella Villamizar y Mercedes Duque.



Figura I.5.10 Aves playeras, "Gaviotas", en el Parque Nacional Archipiélago Los Roques (PNALR, Venezuela). Fotografía Estrella Villamizar y Mercedes Duque.

I.5.6 Conclusiones y recomendaciones

- A partir de la búsqueda bibliográfica realizada y la consulta a los expertos en distintas comunidades marinas, se evidencia que la información sobre los efectos del cambio climático en Venezuela en los ambientes marino-costeros y su flora y fauna asociada, es muy limitada.
- La revisión demuestra claramente evidencias correlativas entre eventos climáticos fuera del comportamiento esperado, y la dinámica y estructura de los arrecifes de coral, praderas de pastos marinos y las densidades poblacionales y consecuentes tasas de producción, de la sardina *Sardinella aurita* en el oriente del país.
- No se ha abordado aún el efecto del cambio climático sobre la productividad de comunidades como las praderas de hierbas marinas presentes en la mayor parte de las zonas sublitorales someras del país, así como tampoco sobre las macroalgas establecidas sobre las plataformas y acantilados rocosos; que representan a su vez, el hábitat y fuente de alimentación para muchos moluscos de importancia para las poblaciones humanas locales de algunas regiones de Venezuela.
- De igual forma, no existen en la literatura consultada, estudios que pongan en evidencia, de manera directa, las consecuencias del cambio climático sobre las comunidades de manglares de Venezuela y su papel como sumideros de carbono, así como la dinámica y procesos funcionales que le confieren su alto valor. Sin embargo, la sensibilidad de estas comunidades vegetales costeras al cambio climático, es reconocida y ha sido puesta en evidencia en muchos otros lugares del mundo. Se evidencia la falta de información en este sentido, ya que sistemas como los manglares y las fanerógamas marinas son ampliamente reconocidos como "áreas criadero", especialmente de especies ictícolas que representan recursos pesqueros de gran importancia en nuestro país. Por otra parte, no existen estudios que formalmente hayan abordado la relación causa-efecto entre algún evento climático anómalo y alteraciones en el comportamiento natural y variable en la estructura y función de las comunidades biológicas asociadas a estos ambientes.
- La revisión de la literatura no arroja la existencia de estudios de monitoreo de la dinámica de la línea de costa del extenso territorio insular del país, y los efectos del nivel del mar, tormentas y huracanes, sobre sus dimensiones, así como tampoco de la afectación de las distintas comunidades bióticas que la conforman.
- Más información sobre el efecto de la acidificación de los océanos es necesaria en sistemas claves como los arrecifes coralinos.

- Aunque existen trabajos que analizan los efectos potenciales del cambio climático sobre los ecosistemas marino-costeros de Venezuela, en gran parte de ellos no se demuestra experimentalmente una relación causa-efecto entre cambio climático y los patrones observados.
- Como conclusión general derivada de la presente revisión bibliográfica, se puede afirmar que la investigación acerca de los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas marino-costeros de Venezuela, está apenas en sus inicios.

Referencias

- Amado-Filho, G. M., Pereira-Filho, G. H., Bahia, R. G., Abrantes, D. P., Veras, P. C., & Matheus, Z. (2012). Occurrence and distribution of rhodolith beds on the Fernando de Noronha Archipelago of Brazil. *Aquatic botany*, 101: 41-45.
- Astor, Y., Muller_Karger, F.; Scranton, M I. (2003) Seasonal and interannual variation in the hydrography of the Cariaco Basin: implications for basin ventilation. *Continental Shelf Research*, 23(1): 125-144.
- Barreto, M.B. (2008). Diagnostics about the state of mangroves in Venezuela: case studies from the National Park Morrocoy and Wildlife Refuge Cuare. In: Lieth, H., Garcia, M., Herzog, B. (Eds.), *Mangroves and Halophytes, Restoration and Utilisation*. Springer, Dordrecht, pp. 51–64.
- Barreto, C. R. (2016). *Uncovering the impacts of mangrove encroachment and warming on microbial community composition and function* (Doctoral dissertation) Villanova University).
- Bastidas, C., Bone, D., Croquer, A., Debrot, D., Garcia, E., Humanes, A., ... & Rodríguez, S. (2012). Massive hard coral loss after a severe bleaching event in 2010 at Los Roques, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 60: 29-37.
- Bellwood, D. R., Wainwright, P. C., Fulton, C. J., & Hoey, A. S. (2006). Functional versatility supports coral reef biodiversity. En: *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 273(1582): 101-107.
- Black, D. E., Thunell, R. C., Kaplan, A., Peterson, L. C., & Tappa, E. J. (2004). A 2000-year record of Caribbean and tropical North Atlantic hydrographic variability. *Paleoceanography*, 19(2).
- Bone, D. (2001). Programa CARICOMP: Monitoreo a largo plazo de los ecosistemas marinos del Parque Nacional Morrocoy, Venezuela. *Interciencia*, 26(10): 457-462.
- Brandt, M. E., & McManus, J. W. (2009). Disease incidence is related to bleaching extent in reef-building corals. *Ecology*, 90(10): 2859-2867.
- Chollett, I., & Bone, D. (2007). Effects of heavy rainfall on polychaetes: differential spatial patterns generated by a large-scale disturbance. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 340(2):113-125.
- Cróquer, A., Debrot, D., Klein, E., Kurten, M., Rodríguez, S., & Bastidas, C. (2010). What can two years of monitoring tell us about Venezuelan coral reefs? The Southern Tropical America node of the Global Coral Reef Monitoring Network (STA-GCRMN). *Revista de Biología Tropical*, 58:51-65.
- Del Mónaco, C., Haiek, G., Narciso, S., & Galindo, M. (2012). Massive bleaching of coral reefs induced by the 2010 ENSO, Puerto Cabello, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 60(2):527-538.
- Eakin, C. M., Morgan, J. A., Heron, S. F., Smith, T. B., Liu, G., Alvarez-Filip, L., ... & Brandt, M. (2010). Caribbean corals in crisis: record thermal stress, bleaching, and mortality in 2005. *PloS one*, 5(11): e13969.
- Emanuel, K. (2005). Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436(7051): 686-688.
- Gabaldon, A. J. (2008). El cambio climático y sus posibles efectos sobre Venezuela. *Humania del Sur*, (4): 13-32.
- Gómez-Gaspar, A., Barceló, A., Mata, E., 2012. Condiciones hidrográficas (2007–2009) al sur de Isla Margarita y Península de Araya como indicio de disminución de la fertilidad regional y posible afectación del recurso sardinero venezolano. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 51(2): 173–186.
- Gómez-Gaspar, A., Mata, E., & Gómez, O. (2014). Crisis de la pesca de sardina en Venezuela: variación de la biomasa del fitoplancton en el este de Margarita, una década de estudio (2003-2012). *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 53(1).
- Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., D'agrosa, C., ... & Fujita, R. (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319(5865): 948-952.
- Hoegh-Guldberg, O. (1999). Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and freshwater research*, 50(8): 839-866.
- Hoegh-Guldberg, O., & Bruno, J. F. (2010). The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science*, 328(5985), 1523-1528.

- Hughes, T. P., Graham, N. A., Jackson, J. B., Mumby, P. J., & Steneck, R. S. (2010). Rising to the challenge of sustaining coral reef resilience. *Trends in ecology & evolution*, 25(11): 633-642.
- 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.
- Lesser, M. P., Falcón, L. I., Rodríguez-Román, A., Enríquez, S., Hoegh-Guldberg, O., & Iglesias-Prieto, R. (2007). Nitrogen fixation by symbiotic cyanobacteria provides a source of nitrogen for the scleractinian coral *Montastraea cavernosa*. *Marine Ecology Progress Series*, 346: 143-152.
- Laboy-Nieves, E. N., Klein, E., Conde, J. E., Losada, F., Cruz, J. J., & Bone, D. (2001). Mass mortality of tropical marine communities in Morrocoy, Venezuela. *Bulletin of Marine Science*, 68(2): 163-179.
- Lang, J. C., Lasker, H. R., Gladfelter, E. H., Hallock, P., Jaap, W. C., Losada, F. J., & Muller, R. G. (1992). Spatial and temporal variability during periods of "recovery" after mass bleaching on Western Atlantic coral reefs. *American Zoologist*, 32(6): 696-706.
- Marrero, C. & D. Rodríguez-Olarte. (2017). Los humedales costeros venezolanos en los escenarios de cambios climáticos: vulnerabilidad, perspectivas y tendencias. p. 461-476. En: Botello A.V., S. Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas Galaviz (eds.). *Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático*. UJAT, UNAM, UAC. 476 p.
- McConnell, M. C., Thunell, R. C., Peterson, L. C., & Black, D. E. (2006, December). Timing and Magnitude of Tropical Climate Variability in the Cariaco Basin, Venezuela During Marine Isotope Stage 3. En: *AGU Fall Meeting Abstracts*.
- Martins, C. D., Arantes, N., Faveri, C., Batista, M. B., Oliveira, E. C., Pagliosa, P. R., ... & Horta, P. A. (2012). The impact of coastal urbanization on the structure of phytobenthic communities in southern Brazil. *Marine pollution bulletin*, 64(4): 772-778.
- Martelo, M. T. (2004). *Consecuencias ambientales generales del cambio climático en Venezuela*. Trabajo de ascenso, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay, Venezuela.
- Martinez, N. C., Murray, R. W., Thunell, R. C., Peterson, L. C., Muller-Karger, F., Astor, Y., & Varela, R. (2007). Modern climate forcing of terrigenous deposition in the tropics (Cariaco Basin, Venezuela). *Earth and Planetary Science Letters*, 264(3): 438-451.
- Miloslavich, P., Klein, E., Díaz, J. M., Hernández, C. E., Bigatti, G., Campos, L., ... & Carranza, A. (2011). Marine biodiversity in the Atlantic and Pacific coasts of South America: knowledge and gaps. *PLoS one*, 6(1): e14631.
- Mónaco, C. D., Haiek, G., Narciso, S., & Galindo, M. (2012). Massive bleaching of coral reefs induced by the 2010 ENSO, Puerto Cabello, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 60(2):527-538.
- Muller-Karger, F., Varela, R., Thunell, R., Scranton, M., Bohrer, R., Taylor, G., ... & Walsh, J. J. (2001). Annual cycle of primary production in the Cariaco Basin: Response to upwelling and implications for vertical export. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106(C3): 4527-4542.
- Muller-Karger, F. E., Varela, R., Thunell, R., Luerssen, R., Hu, C., & Walsh, J. J. (2005). The importance of continental margins in the global carbon cycle. *Geophysical research letters*, 32(1).
- Mutshinda, C. M., Finkel, Z. V., & Irwin, A. J. (2013). Which environmental factors control phytoplankton populations? A Bayesian variable selection approach. *Ecological modelling*, 269: 1-8.
- Mutshinda, C. M., Troccoli-Ghinaglia, L., Finkel, Z. V., Müller-Karger, F. E., & Irwin, A. J. (2013). Environmental control of the dominant phytoplankton in the Cariaco basin: a hierarchical Bayesian approach. *Marine Biology Research*, 9(3): 246-260.
- Naveda, J. (2010). Variación en el nivel del mar como consecuencia del cambio climático global: una evaluación de la costa venezolana. *Revista temas de coyuntura*, (61).
- Pérez, D., & Galindo, L. (2000). Efectos de la hiposaliniad en *Thalassia testudinum* (Tylrocharitaceae) del Parque Nacional Morrocoy, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 48(Supl 1): 251-260.
- Rodríguez, J.P., F. Rojas-Suárez & Ch.J. Sharpe. (2004). Setting priorities for the conservation of Venezuela's threatened birds, *Oryx*, 38(4):373-382
- Szmant, A., & Gassman, N. J. (1990). The effects of prolonged "bleaching" on the tissue biomass and reproduction of the reef coral *Montastrea annularis*. *Coral reefs*, 8(4):217-224.

- Taylor, G. T., Muller-Karger, F. E., Thunell, R. C., Scranton, M. I., Astor, Y., Varela, R., ... & Doherty, O. (2012). Ecosystem responses in the southern Caribbean Sea to global climate change. En: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(47): 19315-19320.
- Turra, A., Croquer, A., Carranza, A., Mansilla, A., Areces, A. J., Werlinger, C., ... & Scarabino, F. (2013). Global environmental changes: setting priorities for Latin American coastal habitats. *Global change biology*, 19(7): 1965-1969.
- Villamizar, E. (2000). Estructura de una comunidad arrecifal en Falcón, Venezuela, antes y después de una mortalidad masiva. *Revista de Biología Tropical*, 47:19-30.
- Villamizar, E., Camisotti, H., Rodríguez, B., Pérez, J., & Romero, M. (2008). Impacts of the 2005 Caribbean bleaching event at Archipiélago de Los Roques National Park, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 56(1).
- Villamizar, E., Yranzo, A., González, M., Herrera, A. T., Pérez, J., & Camisotti, H. (2014). Diversidad y condición de salud de corales pétreos en algunos arrecifes del Parque Nacional Archipiélago Los Roques, Venezuela. *Acta Biologica Venezuelica*, 34: 2.
- Weil, E., Smith, G., & Gil-Agudelo, D. L. (2006). Status and progress in coral reef disease research. *Diseases of aquatic organisms*, 69(1): 1-7.
- Wernberg, T., Thomsen, M. S., Tuya, F., Kendrick, G. A., Staehr, P. A., & Toohy, B. D. (2010). Decreasing resilience of kelp beds along a latitudinal temperature gradient: potential implications for a warmer future. *Ecology letters*, 13(6): 685-694.
- Wernberg, T., Russell, B. D., Moore, P. J., Ling, S. D., Smale, D. A., Campbell, A., ... & Connell, S. D. (2011). Impacts of climate change in a global hotspot for temperate marine biodiversity and ocean warming. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400(1): 7-16.
- Wilkinson, C. R., & Souter, D. N. (Eds.). (2008). *Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005* (Vol. 148). Global Coral Reef Monitoring Network.