

Recursos acuáticos costeros del sureste

VOLUMEN II

Alberto J. Sánchez
Xavier Chiappa-Carrara
Roberto Brito Pérez
editores

Recursos acuáticos costeros del sureste

VOLUMEN II

Recursos acuáticos costeros del sureste

VOLUMEN II

Alberto J. Sánchez
Xavier Chiappa-Carrara
Roberto Brito Pérez
editores



2012
México

Recursos acuáticos costeros del sureste vol. II
editores

Alberto J. Sánchez (UJAT)
Xavier Chiappa-Carrara (UNAM)
Roberto Brito Pérez (UNACAF)

Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica Conacyt-Gobierno del Estado de Yucatán
Red para el Conocimiento de los Recursos Costeros del Sureste
Consejo de Ciencia, Innovación y Tecnología del Estado de Yucatán
Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación, Conacyt
Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán
Universidad Nacional Autónoma de México
Universidad Autónoma del Carmen
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa

ISBN 978-607-9060-06-0 (obra completa)
ISBN 978-607-9060-08-4 (volumen II)
D.R. © Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Yucatán, 2012
calle 23 Núm. 122 x 24, fraccionamiento Loma Bonita
CP 97205, Mérida, Yucatán, México
J (999)938.0400; 938.0451; 924.8437
www.cienciaytecnologia.yucatan.gob.mx

D.R. © Red para el Conocimiento de los Recursos Costeros del Sureste, 2012
Puerto de Abrigo s/n
CP 97356, Sisal, Yucatán, México
J (988)931.1000
www.sisal.unam.mx/recorecos

D.R. © Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Académica Sisal, 2012
Puerto de Abrigo s/n
CP 97356, Sisal, Yucatán, México
J (988)931.1000
www.sisal.unam.mx

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio, sin el permiso escrito de los titulares de los derechos.

Coordinación general de obra

Xavier Chiappa Carrara

Coordinación editorial

Misael Hernández Martínez

Cuidado de edición y corrección de textos

Alejandrina Garza de León

Diseño editorial de interiores, de cubierta

infografía y formación

Sonia Olvera Carrasco

Fotografía en color y de cubierta

Pim Schalkwijk

Traducción y corrección de textos en inglés

Andrea Raz-Guzman

GC
1005.3
.M6
.R43
2012

Recursos acuáticos costeros del sureste / Alberto
J. Sánchez ... [et al.], editores ; prólogo,
José Narro Robles, c2012.

1. Recursos marinos-México. 2. Recursos marinos-
Costa del golfo de México. 3. Recursos marinos-México-
Región del Caribe. 4. Recursos marinos-Costa del Pacífico
(sur de México). 5. Conservación de los recursos naturales-
México. I. Sánchez, Alberto J.
ISBN 978-607-9060-06-0 (obra completa)
ISBN 978-607-9060-07-7 (v. I)
ISBN 978-607-9060-08-4 (v. II)



Editado e impreso en Mérida-México
Made and printed in Merida-Mexico

RECorecos
Red para el conocimiento de los recursos costeros del sureste

Refugios estuarinos: cambios en la estructura de la comunidad de peces en la laguna de la Carbonera durante un evento de marea roja

Estuarine refuges: changes in the fish community structure in Laguna de la Carbonera during a red tide event

X Chiappa-Carrara, A Gallardo, C Galindo,
J Loera, R Rioja, M Badillo

(XCC) (AG) (CG) (RR) (MB) Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación Sisal. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Puerto de Abrigo s/n, Sisal, Yucatán CP 97356, México. chiappa@unam.mx (JL) Universidad Autónoma de Chapingo y Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Resumen

Las condiciones oceanográficas del litoral norte de la península de Yucatán favorecieron el establecimiento de un evento de marea roja durante el verano del 2008 que causó grandes mortalidades de organismos marinos en una extensa región del litoral. En este trabajo se analizan las variaciones temporales de la riqueza y composición de las especies de peces en la laguna de la Carbonera (abril de 2008 a marzo de 2009) estudiando los ensamblajes de peces presentes antes, durante y después de la marea roja. Los resultados permitieron reconocer que hay un conjunto de especies únicas que estuvo presente en la laguna durante la marea roja. Existe un grupo de peces de origen marino, incluyendo especies de importancia comercial, como los meros *Ephinephelus nigritus* y *E. morio*, que tiene la capacidad de utilizar este sistema tropical como refugio ante las condiciones adversas que se presentan durante una marea roja. La importancia del sistema como zona de refugio subraya la necesidad establecer programas de conservación de este hábitat, que juega un papel relevante para minimizar los impactos ecológicos negativos que provoca un evento de marea roja sobre los recursos ícticos de la costa norte de Yucatán.

397

Palabras clave

estuario tropical, marea roja, refugio, distinción taxonómica

Abstract

Oceanographic conditions along the northern littoral of the Yucatan peninsula favoured the establishment of a red tide event during the summer of 2008 that caused a great mortality of marine organisms throughout a wide region. This study analysed the temporal variations in the richness and composition of the fish species in Laguna de la Carbonera (April 2008 to March 2009), considering the fish assemblages that were present before, during and after the red tide. The results identified a group of unique species that was present in the lagoon during the red tide. A group of marine fish, including commercially important species such as the red groupers *Ephinephelus nigritus* and *E. morio*, has the capacity to use this tropical system as a refuge when adverse conditions like red tides are present. The importance of the system as a refuge area underlines the need to establish conservation programmes for this habitat that plays a relevant role in reducing the negative ecological impact that the fish resources of the northern Yucatan coast receive from red tide events.

Key words

tropical estuary, red tide, refuge, taxonomic distinctness

398

INTRODUCCIÓN

Los estuarios y las lagunas costeras son sistemas dinámicos en los que ocurren cambios drásticos en los parámetros ambientales en escalas espaciales y temporales cortas. Los efectos negativos que esta inestabilidad del ambiente podría tener sobre la biota se compensan, ya sea a nivel individual o poblacional, por el uso que hacen de estos hábitats varias especies para las cuales estas zonas tienen un gran valor, puesto que constituyen lugares propicios para la alimentación, el crecimiento o la reproducción. En estos sitios, la depredación sobre las clases de tamaño más vulnerables se abate, por lo que se reduce la mortalidad natural de aquellos grupos de organismos que, en algún momento de su ciclo de vida, utilizan estos sistemas. Asimismo, los estuarios sirven como sitios en los que varias especies se refugian cuando ocurren condiciones adversas en el mar, como cambios abruptos en temperatura, salinidad, o cuando disminuye la concentración de oxígeno disuelto, cuyos efectos inciden en la mortalidad (Hanekom *et al.* 1989; Whitfield 1995; Collard & Lugo-Fernández 1999; Ward

et al. 2001). Dentro de este conjunto de situaciones adversas se encuentra la proliferación de algas nocivas, que pueden ser tóxicas o no, cuyos efectos sobre las comunidades ocurren en distintas escalas temporales de acuerdo con las características toxicológicas de las especies (Hallegraeff 1992; Pitcher & Calder 2000). A pesar de que existe un incremento aparente en el número y frecuencia de los florecimientos de algas nocivas, atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas que provocan la eutrofización y la contaminación de las aguas costeras (Hallegraeff 1992; Pitcher & Calder 2000; Aranda-Cirerol *et al.* 2010), son pocos los reportes en los que se analiza el papel de los estuarios como un hábitat crítico para que organismos ligados a condiciones estuarinas en alguna fase de su ciclo de vida encuentren protección ante las condiciones adversas que provocan dichos florecimientos (Lamberth *et al.* 2010). En la costa norte de la península de Yucatán se han registrado eventos de florecimiento algal, que son producto de factores como el enriquecimiento de nutrientes en las capas superficiales de la columna de agua a consecuencia de la corriente de surgencia que se genera por el movimiento de la corriente de Yucatán en el trayecto que sigue desde el mar Caribe hasta el golfo de México (Cochrane 1969; Merino 1997; Enríquez *et al.* 2010). Ciertas condiciones hidrodinámicas, químicas (Álvarez-Góngora & Herrera-Silveira 2006) y biológicas (O'Carroll 1987), favorecen estos florecimientos, comúnmente llamados mareas rojas, cuyos efectos se resienten desde Cabo Catoche hasta las costas de la Reserva de la Biosfera de Celestún. En el litoral de Yucatán, los últimos eventos de marea roja ocurrieron en 2001, 2003 y 2008 (Arcos-Serrano & Matías-Ramírez 2003; Enríquez *et al.* 2010), con la presencia de especies como *Nitzschia longissima* y *Cylindrotheca closterium* cuyos niveles de abundancia se incrementaron en varios órdenes de magnitud en relación con los que se observan en condiciones normales. Si bien estas diatomeas no son tóxicas, han provocado eventos importantes de mortalidad de peces debido a la disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto, que llegan a niveles $< 1 \text{ mg l}^{-1}$, como producto de la oxidación de grandes cantidades de materia orgánica una vez que las algas mueren (Arcos-Serrano & Matías-Ramírez 2003). En estos afloramientos se ha reportado la presencia de *Pseudo-nitzschia delicatissima* y de dinoflagelados como *Karenia brevis*, *Gymnodinium catenatum* y *Heterosigma akashiwo*, que son especies conocidas por su potencial toxicológico (Troccoli-Ghinaglia *et al.* 2004).

En este trabajo se describen los cambios temporales en la estructura de la comunidad de peces que habita en un cuerpo lagunar situado en la costa norte de Yucatán. Se obtuvo información con una resolución temporal mensual que permitió estudiar el conjunto de especies que se presenta a lo largo de un ciclo anual, incluyendo el periodo durante el cual se presentó el evento de marea roja en los meses del verano de 2008, para probar que la estructura de la comunidad se modifica por la presencia del evento de marea roja y registrar la capacidad de resiliencia del sistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

La laguna de la Carbonera (21°13'55" N, 89°53'24" W) forma parte del sistema de humedales costeros presente en la costa noroccidental de Yucatán. El cuerpo lagunar está conectado con el mar por una estrecha boca que se formó a consecuencia del huracán Gilberto que azotó las costas yucatecas en 1988. Tiene una longitud de ~4.1 km en la sección paralela a la línea de costa y de ~3.5 km en la parte más ancha, perpendicular a la costa. Varios fenómenos atmosféricos que tienen lugar en el golfo de México determinan el clima en Yucatán, en el que se distinguen tres épocas climáticas características. La época de secas (que ocurre entre marzo y junio) es ocasionada por la condición anticiclónica del Atlántico norte, la cual genera un marcado gradiente barométrico que impide la formación de nubes sobre la península (Logan *et al.* 1969). Los vientos alisios, que se establecen entre julio y octubre, acarrearán sobre el área nubes que descargarán la lluvia estival. Las ondas del este y las depresiones tropicales atlánticas, que se hacen presentes desde el verano y cuya frecuencia se intensifica hacia septiembre, forman tormentas tropicales o huracanes, algunos de ellos con vientos de gran intensidad y alta pluviosidad. Durante el invierno (de noviembre a febrero) la región es afectada por vientos del norte que se originan a partir de los frentes fríos que, al cruzar el golfo de México, se saturan de agua. La temperatura desciende y se presentan fuertes vientos acompañados de una considerable cantidad de lluvia invernal que llega a aportar el 15% del total anual (Logan *et al.* 1969). El efecto de cada "norte" dura en promedio tres días.

La laguna de la Carbonera es somera, con profundidades que oscilan entre 0.25 m y 0.75 m por lo que es altamente influenciada

por la climatología de la región (Jerónimo *et al.* 2012). La temperatura de la columna de agua tiene una amplitud anual promedio de ~ 8 °C. Los valores mínimos, cercanos a ~ 20 °C, ocurren en febrero, y los máximos de ~ 28 °C, en junio. La salinidad tiene una alta variabilidad estacional, con los valores mínimos promedio de ~ 20 ups en la época de lluvias, y los máximos situados en ~ 40 ups que ocurren preferentemente en la época cálida y seca (Jerónimo *et al.* 2012). El régimen hidrológico está determinado por el aporte de agua del golfo de México y, en menor grado, por las variaciones estacionales en el flujo de los afloramientos de agua subterránea, la precipitación y las escorrentías provenientes de la sabana yucateca que, junto con el mangle, bordean el sistema. Estas características permiten la existencia de una gran variedad de microhábitats y estructuras ambientales en las que proliferan los estadios larvales y juveniles de especies de peces dulceacuícolas y estuarinos típicos de estos estuarios tropicales (Vega-Cendejas 2004; Vega-Cendejas & Hernández de Santillana 2004; Arceo-Carranza & Vega-Cendejas 2009).

Para obtener el material biológico se realizaron muestreos mensuales en el periodo comprendido desde abril de 2008 hasta marzo de 2009, con un chinchorro playero de 40 m de longitud, con una caída de 1 m y una abertura de malla de media pulgada. Los arrastres se realizaron siempre por las mismas personas para asegurar la homogeneidad en el esfuerzo de captura (Busch & Trexler 2003). Los estadios juveniles y adultos de los peces capturados fueron fotografiados para formar una base de datos de imágenes digitales y después fueron fijados con formol al 10% y separados en frascos de plástico debidamente etiquetados con los datos de colecta. Los peces fueron trasladados al campus Sisal de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde se postfijaron en alcohol al 70%. Todos los individuos fueron determinados hasta el nivel de especie, utilizando las claves de Greenfield & Thomerson (1997), Schmitter-Soto (1998), Castro-Aguirre *et al.* (1999), Carpenter (2001) y McEachran & Fechhelm (2005). Los ejemplares de referencia están depositados en la Colección Ictiológica Regional de la UNAM, registrada con la clave YUC-PEC-239-01-11 ante la Semarnat.

La similitud en la riqueza específica se estudió calculando los coeficientes de Sørensen con base en la composición mensual de las especies registradas (presencia/ausencia).

Para comparar estadísticamente esta serie temporal se obtuvieron los índices mensuales de distinción taxonómica promedio (Δ^+) y de variación en la distinción taxonómica (Λ^+), utilizando las siguientes expresiones (Clarke & Warwick 2001b):

$$\Delta^+ = \left(\sum_{i < j} \omega_{ij} \right) / [S(S-1)/2] \text{ y } \Lambda^+ = \left[\sum_{i < j} (\omega_{ij} - \Delta^+)^2 \right] / [S(S-1)/2]$$

donde S es el número de especies presentes. La doble sumatoria se realiza sobre la serie $\{i = 1; j = 1, S; \dots S$, de tal manera que $i < j\}$ y ω_{ij} es un término que pondera la distancia entre la especie i y el nodo taxonómico común con la especie j . A partir de las propiedades estadísticas de los valores de Δ^+ y Λ^+ mostradas por Clarke y Warwick (1998), es posible calcular los promedios, varianzas y los intervalos de confianza ($IC_{95\%}$) de las estimaciones.

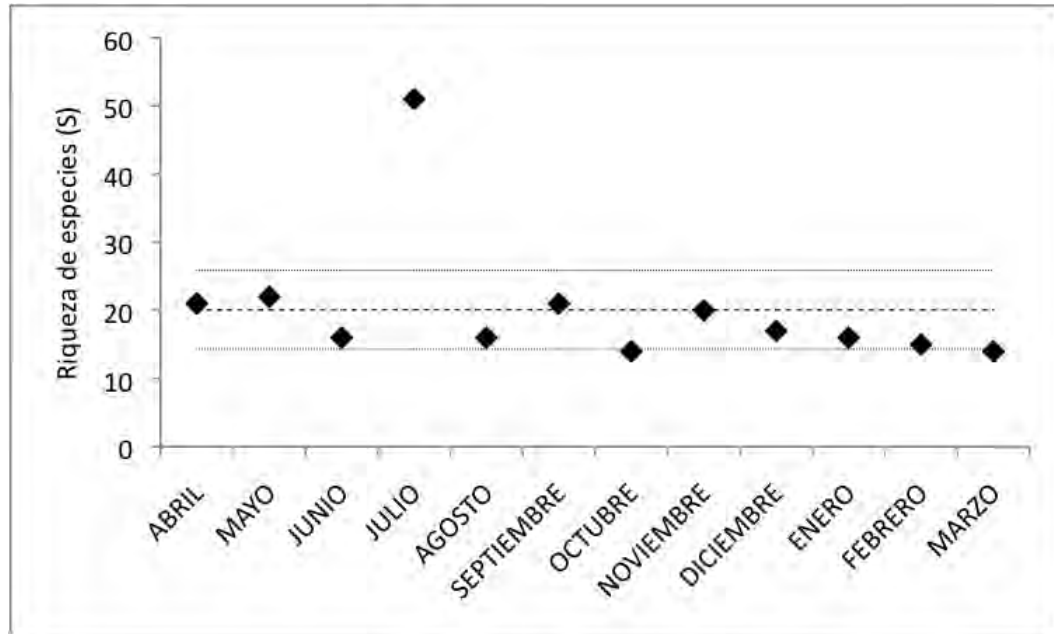
Los análisis se realizaron con la ayuda de las rutinas contenidas en el programa de cómputo de análisis estadístico PRIMER v 6.0 (Clarke & Warwick 2001a; Clarke & Gorley 2006).

RESULTADOS

402

En la laguna de la Carbonera, considerando el ciclo anual de observaciones, se encontraron 84 especies de peces pertenecientes a 44 familias. El mayor número de especies (56, ~67% del total anual) se registró en el muestreo que se realizó en julio de 2008, durante la presencia de un evento de marea roja y difiere significativamente ($p < 0.05$) de los valores de riqueza registrados a lo largo del periodo estudiado (Figura 1). Del total de especies obtenidas, 41 (~49% del total anual) estuvieron presentes solo en este periodo (Tabla 1). Este ensamblaje es único y distinto del que se presentó a lo largo del periodo estudiado, que es representativo de las condiciones típicas del sistema (Tabla 2). El dendrograma construido con el índice de similitud de Sørensen (Figura 2) muestra que el grupo de especies presentes en la laguna en julio de 2008 se separa de los valores obtenidos en el resto del periodo analizado. Al mismo tiempo, se observa el efecto de los periodos climáticos reconocidos para la península de Yucatán sobre los valores de similitud de la composición mensual y estacional de las especies. Los valores de similitud correspondientes a la temporada de secas están relacionados con la presencia de *Hyporhamphus unifasciatus*

Figura 1
 Riqueza mensual (S) de especies de peces de la laguna de la Carbonera, Yucatán (2008-2009). Se muestra el valor promedio de S calculado sobre la serie (---) y los intervalos de confianza (IC 95%)



y *Elops saurus* durante los meses de marzo a junio. En términos anuales, existen ensamblajes característicos del cuerpo lagunar formados por especies que residen de forma permanentes en el sistema y otras cuya presencia ocurre en distintos momentos del año.

En la Figura 3 se presentan los valores promedio (Δ^+) y de variación en la distinción taxonómica (Λ^+) calculados a partir de la presencia/ausencia de las especies que se registraron en los muestreos mensuales de la ictiofauna de la Carbonera. En general, los valores obtenidos ocurren dentro de los límites del intervalo de confianza ($IC_{95\%}$). La excepción corresponde al muestreo de julio de 2008 puesto que los valores correspondientes a este ensamblaje se encuentran fuera de los límites de confianza obtenidos, considerando la tendencia general del ciclo anual. Los valores de Δ^+ y Λ^+ permiten distinguir taxonómicamente el conjunto de especies que se presentó durante el evento de marea roja del ensamble de especies presente en la laguna el resto del año.

Tabla 1
Lista de especies y categoría ambiental (Carpenter 2001)
de peces presentes en la laguna de la Carbonera, Yucatán,
durante el evento de marea roja en julio de 2008

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	CATEGORÍA AMBIENTAL
Torpediniformes	Narcinidae	<i>Narcine brasiliensis</i> (Olfers, 1831)	Asociado a arrecife
Rajiformes	Rhinobatidae	<i>Rhinobatos lentiginosus</i> Garman, 1880	Asociado a arrecife
Myliobatiformes	Urotrygonidae	<i>Urobatis jamaicensis</i> (Cuvier, 1817)	Asociado a arrecife
	Gymnuridae	<i>Gymnura micrura</i> (Bloch y Schneider, 1801)	Demersal estuarino
Albuliformes	Albulidae	<i>Albula vulpes</i> (Linnaeus, 1758)	Asociado a arrecife, estuarino
Anguilliformes	Muraenoidae	<i>Gymnothorax ocellatus</i> Agassiz, 1828	Asociado a arrecife
	Ophichthidae	<i>Ophichthus gomesii</i> (Castelnau, 1855)	Demersal marino
	Engraulidae	<i>Anchoa lamprotaenia</i> Hildebrand, 1943	Marino
Siluriformes	Ariidae	<i>Bagre marinus</i> (Mitchill, 1815)	Demersal marino
Aulopiformes	Synodontidae	<i>Synodus foetens</i> (Linnaeus, 1758)	Estuarino
Ophidiiformes	Ophidiidae	<i>Ophidiion</i> sp.	
	Bythitidae	<i>Gunterichthys longipenis</i> Dawson, 1966	Demersal marino
Batracoidiformes	Batrachoididae	<i>Opsanus dichrostomus</i> Collette, 2001	Demersal marino
		<i>Sanopus reticulatus</i> Collette 1983	Demersal marino
Mugiliformes	Mugilidae	<i>Mugil curema</i> Valenciennes in Cuvier y Valenciennes, 1836	Asociado a arrecife, estuarino
Beloniformes	Belonidae	<i>Strongylura notata</i> (Poey, 1860)	Estuarino
Cyprinodontiformes	Cyprinodontidae	<i>Floridichthys polyommus</i> Hubbs, 1936	Estuarino
Scorpaeniformes	Triglidae	<i>Prionotus scitulus</i> Jordan y Gilbert, 1882	Demersal marino
		<i>Prionotus rubio</i> Jordan, 1886	Demersal, marino
	Scorpaenidae	<i>Scorpaena brasiliensis</i> Cuvier, 1829	Asociado a arrecife, marino
Perciformes	Serranidae	<i>Diplectrum formosum</i> (Linnaeus, 1758)	Asociado a arrecife, marino
		<i>Hypoplectrus</i> sp.	

Continuación...

Perciformes	Serranidae	<i>Ephinephelus nigritus</i> (Holbrook, 1855)	Asociado a arrecife
		<i>Epinephelus morio</i> (Valenciennes, 1828)	Asociado a arrecife, marino
		<i>Rypticus saponaceus</i> (Bloch y Schneider, 1801)	Asociado a arrecife, marino
		<i>Serranus subligarius</i> (Cope, 1870)	Asociado a arrecife
	Carangidae	<i>Decapterus punctatus</i> (Cuvier, 1829)	Asociado a arrecife
	Gerreidae	<i>Eucinostomus argenteus</i> Baird y Girard, 1855	Estuarino
		<i>Eucinostomus gula</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	Estuarino
		<i>Gerres cinereus</i> (Walbaum, 1792)	Estuarino
	Haemulidae	<i>Orthopristis chrysoptera</i> (Linnaeus, 1766)	Demersal marino
		<i>Haemulon aurolineatum</i> Cuvier, 1830	Asociado a arrecife
		<i>Haemulon plumierii</i> (Lacepede, 1802)	Asociado a arrecife
		<i>Haemulon album</i> Cuvier, 1830	Asociado a arrecife
	Sparidae	<i>Calamus calamus</i> (Valenciennes, 1830)	Asociado a arrecife
		<i>Calamus campechanus</i> Randall y Caldwell, 1966	Asociado a arrecife
		<i>Calamus nodosus</i> Randall y Caldwell, 1966	Asociado a arrecife
		<i>Lagodon rhomboides</i> (Linnaeus, 1766)	Demersal estuarino
	Sciaenidae	<i>Equetus lanceolatus</i> (Linnaeus, 1758)	Asociado a arrecife
		<i>Corvula batabana</i> (Poey, 1860)	Asociado a arrecife, marino
		<i>Menticirrhus americanus</i> (Linnaeus 1758)	Demersal marino
		<i>Bairdiella ronchus</i> (Cuvier, 1830)	Demersal marino
		<i>Pareques umbrosus</i> (Jordan y Eigenmann, 1889)	Asociado a arrecife, marino
		<i>Cynoscion arenarius</i> (Ginsburg, 1930)	Demersal marino
	Chaetodontidae	<i>Chaetodon ocellatus</i> Bloch, 1781	Asociado a arrecife

Continuación...

Perciformes	Pomacanthidae	<i>Holacanthus bermudensis</i> Goode, 1876	Asociado a arrecife
		<i>Pomacanthus arcuatus</i> (Linnaeus 1758)	Asociado a arrecife
	Labridae	<i>Lachnolaimus maximus</i> (Walbaum, 1792)	Asociado a arrecife
	Scaridae	<i>Nicholsina usta</i> (Valenciennes, 1840)	Asociado a arrecife
	Paralichthyidae	<i>Citharichthys macrops</i> Dresel, 1885	Asociado a arrecife, marino
	Achiridae	<i>Gymnachirus texae</i> (Gunter, 1936)	Demersal marino
	Monacanthidae	<i>Stephanolepis hispidus</i> (Linnaeus, 1766)	Asociado a arrecife, marino
	Ostraciidae	<i>Acanthostracion quadricornis</i> (Linnaeus, 1758)	Asociado a arrecife, marino
Tetraodontiformes	Tetraodontidae	<i>Sphoeroides nephelus</i> (Goode y Bean, 1882)	Asociado a arrecife, estuarino
		<i>Sphoeroides spengleri</i> (Bloch, 1785)	Asociado a arrecife, estuarino
	Diodontidae	<i>Chilomycterus schoepfii</i> (Walbaum, 1792)	Asociado a arrecife, marino

406

Tabla 2
Lista de especies y categoría ambiental (Carpenter 2001)
de los peces de la laguna de la Carbonera, Yucatán,
en condiciones típicas (abril 2008-marzo 2009)

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	CATEGORIA AMBIENTAL
Myliobatiformes	Gymnuridae	<i>Gymnura micrura</i> (Bloch y Schneider, 1801)	Marino eurihalino
Elopiformes	Elopidae	<i>Elops saurus</i> Linnaeus 1766	Marino estenohalino
Albuliformes	Albulidae	<i>Albula vulpes</i> (Linnaeus, 1758)	Marino eurihalino
Aulopiformes	Synodontidae	<i>Synodus foetens</i> (Linnaeus, 1758)	Marino eurihalino
Clupeiformes	Clupeide	<i>Harengula clupeola</i> (Cuvier, 1829)	Marino eurihalino
Batrachoidiformes	Batrachoididae	<i>Sanopus reticulatus</i> Collette 1983	Marino
Mugiliformes	Mugilidae	<i>Mugil curema</i> Valenciennes in Cuvier y Valenciennes, 1836	Marino eurihalino
		<i>Mugil tricodon</i> Poey, 1875	Marino eurihalino

Continuación...

Atheriniformes	Atherinopsidae	<i>Menidia colei</i> Hubbs, 1936	Dulceacuicola eurihalino
Beloniformes	Belonidae	<i>Strongylura timucu</i> (Walbaum, 1792)	Marino eurihalino
		<i>Strongylura marina</i> (Walbaum, 1972)	Marino eurihalino
		<i>Strongylura notata</i> (Poey, 1860)	Marino eurihalino
	Hemiramphidae	<i>Hyporhamphus unifasciatus</i> (Ranzani, 1841)	Marino eurihalino
<i>Chriodorus atherinoides</i> Goode & Bean, 1882		Marino eurihalino	
Cyprinodontiformes	Fundulidae	<i>Fundulus persimilis</i> Miller, 1955	Dulceacuicola eurihalino
		<i>Fundulus grandissimus</i> Hubbs, 1936	Dulceacuicola eurihalino
	Cyprinodontidae	<i>Cyprinodon artrifrons</i> (Hubbs, 1936)	Dulceacuicola eurihalino
		<i>Floridichthys polymmus</i> Hubbs, 1936	Dulceacuicola eurihalino
		<i>Jordanella pulchra</i> Hubbs, 1936	Dulceacuicola eurihalino
	Poeciliidae	<i>Poecilia velifera</i> (Regan, 1914)	Dulceacuicola eurihalino
<i>Gambusia yucatanana</i> (Regan, 1914)		Dulceacuicola	
Scorpaeniformes	Scorpaenidae	<i>Scorpaena plumieri</i> Bloch, 1789	Marino estenohalino
Perciformes	Carangidae	<i>Trachinotus falcatus</i> (Linnaeus 1758)	Marino eurihalino
		<i>Caranx latus</i> Agassiz, 1831	Marino eurihalino
		<i>Oligoplites saurus</i> (Bloch y Schneider, 1801)	Marino eurihalino
	Lutjanidae	<i>Lutjanus griseus</i> (Linnaeus, 1758)	Marino eurihalino
	Gerreidae	<i>Eucinostomus argenteus</i> Baird y Girard, 1855	Marino eurihalino
		<i>Eucinostomus gula</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	Marino eurihalino
		<i>Eucinostomus harengulus</i> Goode y Bean, 1879	Marino eurihalino
		<i>Gerres cinereus</i> (Walbaum, 1792)	Marino eurihalino
Haemulidae	<i>Orthopristis chrysoptera</i> (Linnaeus, 1766)	Marino eurihalino	

Continuación...

Perciformes	Sparidae	<i>Archosargus probatocephalus</i> (Walbaum, 1792)	Marino eurihalino
		<i>Lagodon rhomboides</i> (Linnaeus, 1766)	Marino eurihalino
	Gobiidae	<i>Bathygobius mystacium</i> Ginsburg, 1947	Marino eurihalino
		<i>Gobionellus oceanicus</i> (Pallas, 1770)	Marino eurihalino
	Ephippidae	<i>Chaetodipterus faber</i> (Broussonet, 1782)	Marino eurihalino
	Paralichthyidae	<i>Citharichthys macrops</i> Dresel, 1885	Marino estenohalino
	Achiridae	<i>Achirus lineatus</i> (Linnaeus, 1758)	Marino eurihalino
Cynoglossidae	<i>Symphurus plagiusa</i> (Linnaeus, 1766)	Marino eurihalino	
Tetraodontiformes	Tetraodontidae	<i>Spherooides testudineus</i> (Linnaeus, 1758)	Marino eurihalino
		<i>Spherooides nephelus</i> (Goode y Bean, 1882)	Marino eurihalino
		<i>Spherooides spengleri</i> (Bloch, 1785)	Marino eurihalino
	Diodontidae	<i>Chilomycterus schoepfii</i> (Walbaum, 1792)	Marino eurihalino

408

Figura 2
Valores de similitud de Sørensen calculados a partir de la matriz taxonómica de presencia/ausencia mensual de las especies de peces capturadas en la laguna de la Carbonera, Yucatán

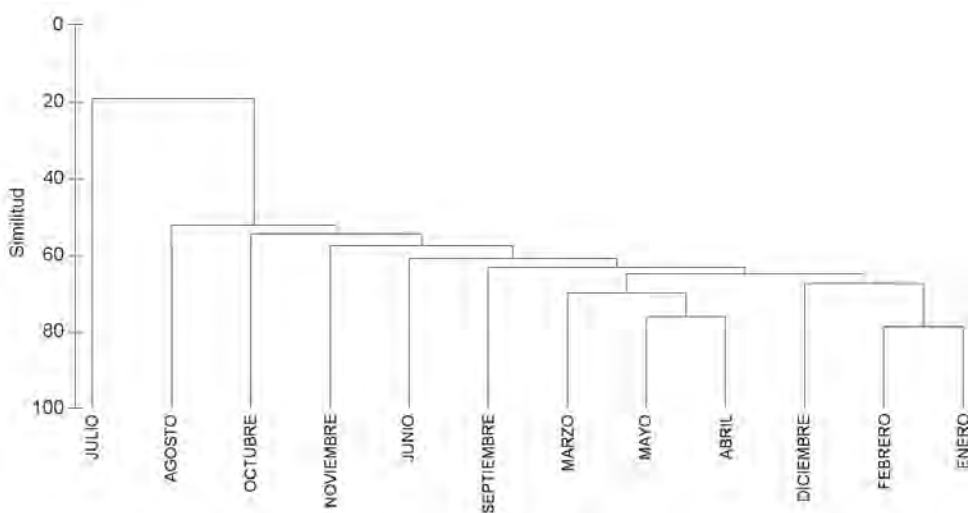
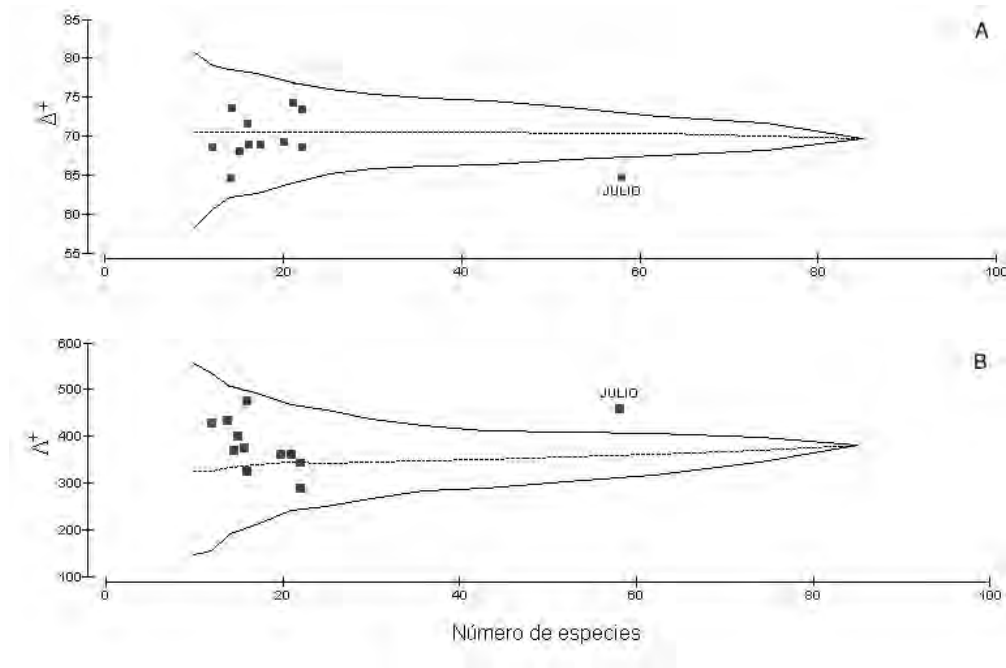


Figura 3
 (A) Índice de distinción taxonómica promedio (Δ^+) y (B) variación en la distinción taxonómica (Λ^+) de las especies de peces capturadas en la laguna de la Carbonera, Yucatán. Las líneas (—) denotan los intervalos de confianza ($IC_{95\%}$) de las estimaciones



DISCUSIÓN

Durante la mayor parte del año, el conjunto de peces presente en la Carbonera está formado por especies que típicamente habitan en aguas salobres o costeras del litoral norte de Yucatán. Hay un grupo de especies cuya presencia se registró a lo largo de todo el año, que está compuesto por *Floridichthys polyommus* (Cyprinodontidae), *Fundulus persimilis* (Fundulidae), *Strongylura timucu*, *S. marina* (Belontiidae) y *Eucinostomus harengulus* (Gerreidae). Los valores de ocurrencia permiten clasificar a estas especies como residentes de este tipo de sistemas costeros (Vega-Cendejas 2004; Arceo-Carranza & Vega-Cendejas 2009) puesto que tienen la plasticidad fisiológica y conductual necesarias para aprovechar la variedad de condiciones que proveen los distintos hábitats característicos de la laguna.

Durante el evento de marea roja que se registró en julio de 2008 en la costa norte de Yucatán (Enríquez *et al.* 2010), el número de especies de peces presentes en la laguna se ubicó por arriba del límite superior del intervalo de confianza ($IC_{95\%}$) obtenido para la serie anual (Figura 1). El incremento en la riqueza de especies modificó la estructura de la comunidad que ocupa las aguas cercanas a la boca de conexión del sistema lagunar con el mar. En esta región del sistema lagunar, la salinidad y la temperatura no difieren significativamente de las condiciones que se presentan en la franja costera (Jerónimo *et al.* 2012) por lo que especies típicamente marinas pueden ocupar este hábitat. De acuerdo con Legendre & Legendre (2003), la presencia de una especie suele tener un carácter más informativo que su ausencia puesto que ésta puede deberse a una gran variedad de factores y no necesariamente reflejar las diferencias de estado de un sistema. Por lo tanto, las dobles presencias que se ponderan en el cálculo del índice de Sørensen (Figura 2) son indicadoras de condiciones semejantes entre sitios o tiempos de observación.

La presencia de un gran número de especies reconocidas como “arrecifales” en las aguas de la laguna cercanas a la boca de conexión, caracterizó el conjunto de especies presentes durante el mes de julio cuando ocurrió el evento de marea roja en la franja costera adyacente (Tabla 1). Es importante considerar que las formaciones rocosas más cercanas al área de estudio se encuentran a decenas de kilómetros del sistema lagunar de la Carbonera (Jordán-Dahlgren & Rodríguez-Martínez 2003). Si bien el papel de los estuarios como hábitats críticos para que organismos estuarinos encuentren protección ante las condiciones adversas que provocan los florecimientos de algas tóxicas o nocivas ha sido descrito por Lamberth *et al.* (2010), nuestros resultados indican que la habilidad para encontrar refugio en un ambiente estuarino no se limita a las especies “estuarino-dependientes”.

Para que un conjunto de individuos pueda utilizar un sistema estuarino durante las condiciones adversas que provoca un evento de marea roja, los organismos deben poseer las adaptaciones fisiológicas o conductuales que les permitan sobrevivir en las condiciones del ambiente que brinda el refugio (Schulte 2007). Uno de los principales cambios que ocurren durante un

evento de esa naturaleza es el abatimiento de la concentración de oxígeno disuelto (Lamberth *et al.* 2010) y esta circunstancia limita la capacidad de nado de los peces que podría ser contrarrestada mediante mecanismos como la respiración superficial, que es una adaptación a las condiciones de hipoxia que ha sido reconocida sólo en peces estuarinos (Kramer 1983) e intermareales (Ríos-Torres *et al.* 2002). Por lo tanto, los peces generalmente clasificados como estuarino-independientes deben asegurar su sobrevivencia arribando al estuario en tiempos cortos, reconociendo las pistas que brindan los gradientes físicos (temperatura, salinidad, turbiedad), químicos (pH, concentración de oxígeno disuelto), o biológicos (olfatorios, hormonales). Una vez en la laguna, los peces se enfrentan a las variaciones espaciales del ambiente típicas de un sistema somero en el que dominan las condiciones de mezcla en la columna de agua (Jerónimo *et al.* 2012). Las observaciones sobre la distribución horizontal de los peces capturados en julio de 2008 permiten suponer que el ensamblaje formado por las especies residentes de la laguna (como *F. polyommus*, *F. persimilis*, *S. timucu*, y *E. harengulus*) fue desplazado hacia la parte interna del sistema, zona en la que se presentan valores de salinidad más bajas que aquellos observados en la franja litoral marina como consecuencia del aporte de agua dulce proveniente de varios manantiales (Jerónimo *et al.* 2012).

En los momentos de la máxima insolación estival, la zona interna de la laguna, que es la más somera, presentó los valores más elevados de temperatura, mientras que la región cercana a la boca de conexión del sistema con el mar, en la que las condiciones de temperatura y salinidad se mantienen similares a las del océano circundante (Jerónimo *et al.* 2012), se estableció el ensamblaje compuesto por especies propias del ambiente marino y asociadas a formaciones arrecifales (Tabla 1) que encontraron refugio temporal en el sistema lagunar.

Una vez que el evento de marea roja terminó, se restablecieron las condiciones típicas del ambiente costero y, en el mes de agosto, tanto el número y la composición de especies, así como las características de la comunidad (S, Δ^+ y Λ^+) de los peces de la Carbonera, no presentaron diferencias significativas con respecto de las condiciones que caracterizan al sistema la mayor parte del año (Figuras 1, 2 y 3).

Si bien los eventos de marea roja suelen incrementar la mortalidad de un gran número de individuos, los resultados de este trabajo indican que varias especies de peces marinos tiene la capacidad de ocupar de forma temporal una región cercana a la boca de conexión de la laguna con el mar y permanecer en el mismo hasta el momento en el que se restablecen las condiciones típicas del océano adyacente. En el grupo de organismos que se refugiaron en la Carbonera figuran algunos de importancia comercial, como los meros *Epinephelus morio* y *E. nigrilus*. De las 56 especies que se capturaron en julio de 2008, hay un grupo de 41 que no han vuelto a registrarse en la laguna, aun en años sucesivos (Gallardo *et al.* 2012), por lo que su presencia en el sistema lagunar puede asociarse con las condiciones de marea roja que se presentaron en la franja litoral.

La posición geográfica y la variedad de hábitats que caracterizan el ambiente lagunar de la Carbonera hacen de este sistema un sitio que puede ser utilizado como refugio por un gran número de especies de la ictiofauna que habita en el litoral norte de la península de Yucatán ante escenarios adversos que ocurren en el ambiente marino. La progresión temporal de los datos sobre la composición faunística de los peces que habitan el cuerpo lagunar permite inferir la resiliencia del sistema ante este tipo de perturbaciones.

La Carbonera forma parte de la Reserva de Ciénagas y Manglares de Yucatán, cuyo decreto de creación se publicó en el *Diario Oficial del Estado de Yucatán* (2010) con el objetivo de proteger un hábitat que alberga una gran variedad de especies, y utilizado como refugio de aves migratorias y endémicas, por ser una zona de protección, crecimiento y desarrollo de peces, crustáceos y moluscos, reptiles, anfibios y pequeños mamíferos, asociados a los humedales. Los resultados de este trabajo indican que el plan de manejo de esta Área Natural Protegida debe incluir a la laguna de la Carbonera como un hábitat crítico, puesto que no solo contribuye a mantener núcleos poblacionales de varias especies de peces que habitan en el ecosistema costero y aporta individuos a los stocks pesqueros de la región, sino que juega un papel importante para minimizar los impactos ecológicos negativos, como la mortalidad masiva, que provoca un evento de marea roja sobre la ictiofauna del litoral yucateco.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó gracias al financiamiento obtenido a través de los proyectos PAPIIT (IN207609) y Fomix-Yucatán (103229). Las doctoras Tsai García Galano (Universidad de La Habana) y Emma Guevara Carrió (Unacar) cotejaron el estado taxonómico de los especímenes. El apoyo técnico de Juani Tzeek, Iván Domínguez y Korinthya López Aguiar fue invaluable en las colectas y en el trabajo en el laboratorio. Las expediciones a la zona de estudio no hubieran sido posibles sin el apoyo de EcoSisal.

Literatura citada

- Álvarez-Góngora C, Herrera-Silveira JA (2006) "Variations of phytoplankton community structure related to water quality trends in a tropical karstic coastal zone". *Mar. Pollut. Bull.* 52(1): 48-60.
- Aranda-Cirerol N, Comín F, Herrera-Silveira J (2010) "Nitrogen and phosphorus budgets for the Yucatán littoral: An approach for groundwater management". *Environ. Monit. Assess.* 172(1-4): 493-505.
- Arceo-Carranza D, Vega-Cendejas ME (2009) "Spatial and temporal characterization of fish assemblages in a tropical coastal system influenced by freshwater inputs: northwestern Yucatan peninsula". *Rev. Biol. Trop.* 57(1-2): 89-103.
- Arcos-Serrano ME, Matías-Ramírez LG (2003) Informe técnico del fenómeno de marea roja correspondiente a la visita realizada al estado de Yucatán del 12 al 14 de agosto de 2003. Sistema Nacional de Protección Civil, Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), Informe Técnico núm. DI/RQ-RH-08102003. 18 pp.
- Busch DE, Trexler JC (2003) *Monitoring Ecosystems. Interdisciplinary approaches for evaluating ecoregional initiatives*. Island Press. Washington. 209 pp.
- Carpenter KE (2001) FAO *The living marine resources of the Western Central Atlantic*. Volume 2: Bony fishes part 1. Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists. Special Publication 5: 601-1374.
- Castro-Aguirre JL, Espinoza H, Schmitter-Soto JJ (1999) *Ictiofauna estuario-lagunar y vicaria de México*. Editorial Limusa. México. 705 pp.
- Clarke KR, Warwick RM (1998) "A taxonomic distinctness index and its statistical properties". *Journal of Applied Ecology* 35: 523-531.
- _____ (2001a) *Change in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation*, second ed. PRIMER-E, Plymouth.
- _____ (2001b) "A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness". *Marine Ecology Progress Series* 216: 265-278.
- Clarke KR, Gorley RN (2006) *Primer V6: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E, Plymouth.
- Cochrane JD (1969) "Water and circulation on Campeche Bank in May. Papers in Dedication to Professor Michitaka Uda.", *Special Bulletin of the Japanese Society of Fisheries Oceanography*, 1969: 123-129.
- Collard SB, Lugo-Fernández A (1999) Coastal Upwelling and Mass Mortalities of Fishes and Invertebrates in the Northeastern Gulf of Mexico

- During Spring and Summer 1998. OCS Study MMS 99-0049. U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA, USA, 20 pp. <http://www.gomr.mms.gov/PI/PDFImages/ESPIS/3/3207.pdf>
- Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán* (2010) Decreto Número 285, Poder Ejecutivo Estatal, pp. 4-19.
- Enríquez C, Mariño-Tapia IJ, Herrera-Silveira JA (2010) *Dispersion in the Yucatan coastal zone: Implications for red tide events*. *Continental Shelf Research* 30: 127-137.
- Gallardo-Torres A, Badillo-Alemán M, Galindo De Santiago C, Loera-Pérez J, Rioja-Nieto R, Chiappa-Carrara X (2012) Listado taxonómico de los peces de la laguna boca de la Carbonera, Yucatán. En: Recursos costeros del Sureste. Tendencias actuales en investigación y estado del arte. En prensa.
- Greenfield DW, Thomerson JE (1997) *Fishes of continental water of Belize*. University Press of Florida, USA. 311 pp.
- Hallegraeff GM (1992) "Harmful algal blooms in the Australian region". *Marine Pollution Bulletin* 25: 186-190.
- Hanekom N, Hutchings L, Joubert PA, Van der Byl PCN (1989) "Sea temperature variations in the Tsitsikamma Coastal National Park, South Africa, with notes on the effect of cold conditions on some fish populations". *South African Journal of Marine Science* 8: 145-153.
- Jerónimo G, Gómez-Valdez J, Badillo M, López-Aguiar K, Galindo C, Gallardo A, Loera J, Arroyo-Pedraza L, Chiappa-Carrara X (2012) "Variación estacional de temperatura y salinidad en la boca de la Carbonera, Yucatán (2009-2010)". En: *Recursos costeros del Sureste. Tendencias actuales en investigación y estado del arte*.
- Jordán-Dahlgren E, Rodríguez-Martínez RE (2003) "The Atlantic Coral Reefs of Mexico". In: Cortés J (ed) *Latin American Coral Reefs*. Elsevier, pp. 131-158.
- Kramer DL (1983) "Aquatic surface respiration in the fishes of Panama: distribution in relation to risk of hypoxia". *Environmental Biology of Fishes* 8: 49-54.
- Lamberth SJ, Branch GM, Clark BM (2010) "Estuarine refugia and fish responses to a large anoxic, hydrogen sulphide, "black tide" event in the adjacent marine environment". *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 86: 203-215.
- Legendre P, Legendre L (2003) *Numerical Ecology*. Segunda Edición, Elsevier. 853 pp.
- Logan BW, Harding JL, Ahr WM, Williams JD, Snad RG (1969) "Late Quaternary Sediments of Yucatan Shelf, Mexico". In: Mac Birney AR (comp.), *Carbonate sediments and reefs. Yucatan shelf, Mexico*. Am. Ass. Petrol. Geol. Special Vol. M11: 5-28.
- McEachran J, Fechhelm J (2005) *Fishes of the Gulf of Mexico*. Vol. 2. University of Texas Press USA. 1004 pp.
- Merino M (1997) *Upwelling on the Yucatan Shelf: hydrographic evidence*. *J. Mar. Syst.* 13(1-4): 101-121.
- O'Carroll K (1987) "Bacteria-red tide link". *Marine Pollution Bulletin* 18(4): 148.
- Pitcher GC, Calder D (2000) "Harmful algal blooms of the southern Benguela current: a review and appraisal of monitoring from 1989 to 1997". *South African Journal of Marine Science* 22: 255-271.
- Ríos-Torres HE, Alcaraz G, Simões N, Chiappa-Carrara X (2002) Desiccation due to air exposition modifies the hydric and osmotic balance in *Bathygobius ramosus* (Gobiidae). *Fish Biology Congress*: 34-37.

- Schmitter-Soto JJ (1998) *Catálogo de los peces continentales de Quintana Roo*. Ecosur. México. 239 pp.
- Schulte PM (2007) "Responses to environmental stressors in an estuarine fish: Interacting stressors and the impacts of local adaptation". *Journal of Thermal Biology* 32: 152-161.
- Troccoli-Ghinaglia L, Herrera-Silveira JA, Comín FA (2004) "Structural variations of phytoplankton in the coastal seas of Yucatan, Mexico". *Hydrobiologia* 519: 85-102.
- Vega-Cendejas ME (2004) "Ictiofauna de la Reserva de la Biosfera Celestún, Yucatán: una contribución al conocimiento de su biodiversidad". *Anales del Instituto de Biología*, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología. 75(1): 193-206.
- Vega-Cendejas ME, Hernández de Santillana M (2004) "Fish community structure and dynamics in a coastal hypersaline lagoon: Rio Lagartos, Yucatan, Mexico". *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 60: 285-299.
- Ward TM, Hoedt F, McLeay L, Dimmlich WF, Kinloch M, Jackson G, McGarvey R, Rogers PJ, Jones K (2001) "Effects of the 1995 and 1998 mass mortality events on the spawning biomass of sardine, *Sardinops sagax*, in South Australian waters". *ICES Journal of Marine Science* 58: 865-875.
- Whitfield AK (1995) "Mass mortalities of fish in South African estuaries". *Southern African Journal of Aquatic Sciences* 21: 29-34.