



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

COMITÉ TUTORAL EVALUADOR

Dr. Francisco Xavier Chiappa-Carrara

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación
Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México
Unidad Académica Sisal, Yucatán

Dra. María Eugenia Vega Cendejas

Departamento de Recursos del Mar
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados
Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida, Yucatán

Dr. Paulo Salles Afonso de Almeida

Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros
Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México
Unidad Académica Sisal, Yucatán

Dr. Felipe Amezcua Martínez

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
Unidad Mazatlán, Sinaloa.

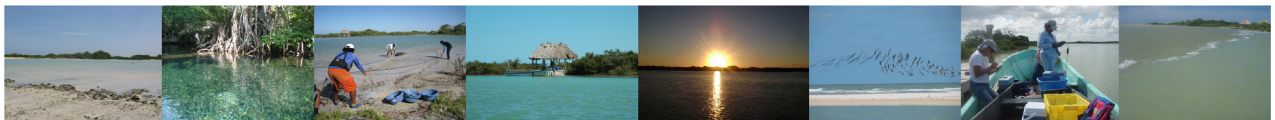
Dr. Juan Madrid Vera

Centro Regional de Investigación Pesquera
Instituto Nacional de Pesca
Unidad Mazatlán, Sinaloa.

ASESOR EXTERNO

Dr. Jorge Alberto López Rocha

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación
Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México
Unidad Académica Sisal, Yucatán



Este trabajo se realizó en la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación de la Facultad de Ciencias, U.N.A.M., Unidad Académica Sisal, Yucatán, México; bajo la dirección del Dr. Francisco Xavier Chiappa-Carrara con el apoyo el financiamiento de los proyectos FOMIX-Yucatán (103229), PAPIIT (IN207609 e IN213012), PAPIIME (PE204012) y PROMEP (103.5/12/2122). Agradezco la participación de los técnicos académicos M. en C. Maribel Badillo Alemán, M. en C. María del Carmen Galindo, M. en C. Alfredo Gallardo Torres, M. en C. Korinthya López Aguiar y Dra. Patricia Guadarrama Chávez por su apoyo en las diferentes etapas que conllevó la investigación. De igual manera la colaboración del Dr. Daniel Arceo Carranza, M. en C. Juani Tzeek Tuz y M. en C. Héctor Gutiérrez Oliva y el equipo de trabajo de la Bocana y todos aquellos pescadores que de alguna manera participaron con su tiempo y esfuerzo al lado de nosotros. Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACyT) por la beca doctoral (CVU / Becario: 178371 / 240833) otorgada para realizar estudios en el Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

DEDICATORIA

A mí querido padre José y a mi madre María (q.e.p.d.),

A mi hermano Miguel Ángel y el lindo Josuan Miguel,

A alguien especial; Chelsea,

...y especialmente a todos aquellos que hacen de sus sueños,

sus retos en la vida...

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y al programa de posgrado en Ciencias del Mar y Limnología (PCMyL), por la oportunidad de continuar mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico que recibí a través de la beca (CVU/Becario: 178371/240833) para realizar estudios de doctorado en el PCMyL.

Al apoyo institucional por parte de los proyectos FOMIX-Yucatán (103229), PAPIIT (IN207609 e IN213012), PAPIIME (PE204012) y PROMEP (103.5/12/2122).

Al Dr. Xavier Chiappa-Carrara por la dirección de esta tesis, por su gran apoyo en lo académico y profesional que siempre tuvo conmigo, y a quién también lo considero como un gran amigo.

A los miembros del jurado, la Dra. María Eugenia Vega Cendejas, el Dr. Paulo Salles Alfonso de Almeida, el Dr. Felipe Amezcua Martínez, el Dr. Juan Madrid Vera y finalmente al Dr. Jorge Alberto López Rocha por sus valiosos consejos y comentarios a lo largo de las evaluaciones de la investigación y en la realización final de este trabajo.

A la Unidad Académica Sisal (UAS) en Yucatán, por el apoyo brindado como infraestructura para el desarrollo de las salidas al campo, análisis y desarrollo de mis cursos. De igual manera al personal administrativo y educando que formaron parte de mi desarrollo personal y profesional durante mi estancia académica en estas instalaciones.

A los profesores de la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación de la Facultad de Ciencias en la UAS; en especial a: Dra. Maite Mascaró, Dr. Fernando Nuno Simoes, Dr. Daniel Arceo Carranza, Dra. Gabriela Gaxiola, Dr. Carlos Rosas; por sus comentarios y valiosas aportaciones en mi vida académica.

A los técnicos académicos de la UAS, Sisal, M. en C. Maribel Badillo Alemán, M. en C. Alfredo Gallardo Torres, M. en C. Korynthia López, M. en C. María de Carmen Galindo de Santiago y Dra. Patricia Guadarrama Chávez por su apoyo técnico en las diferentes etapas de este trabajo.

A mis compañeros del programa de maestría y doctorado en la UMDI-Sisal por todo el apoyo mutuo durante el transcurso del programa; ya que más que compañeros, los considero como mis hermanos y colegas.

A la directora del PCMyL, Dra. Gloria Villaclara y al personal administrativo, Diana Juárez, Gabriela Almaraz, Lupita Godoy y Chantal Guerrero, por su apoyo que recibí a pesar de estudiar tan lejos de sus oficinas.

A toda mi gente del bello pueblo de Sisal, Yucatán, siempre los llevaré en mi corazón.

A Chelsea Combest-Friedman por tu apoyo moral, soporte espiritual y por estar siempre a mi lado cuando lo más lo necesitaba.

A todos aquellos que de alguna forma sirvieron como apoyo para el desarrollo de este trabajo, muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN GENERAL	4
GENERAL ABSTRACT	5
1. SECCIÓN INTRODUCTORA	7
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL	7
1.2. ANTECEDENTES	10
1.3. JUSTIFICACIÓN	12
1.4. ÁREA DE ESTUDIO Y ESPECIES ANALIZADAS	13
1.4.1. Área de estudio	13
1.4.2. Especies estudiadas	14
1.4.2.1. <i>Lagodon rhomboides</i>	16
1.4.2.2. <i>Sphoeroides testudineus</i>	16
1.4.2.3. <i>Mugil curema</i>	17
1.4.2.4. <i>Chriodorus atherinoides</i>	17
1.4.2.5. <i>Eucinostomus argenteus</i>	18
1.4.2.6. <i>Eucinostomus gula</i>	18
1.5. OBJETIVO GENERAL	19
1.5.1. Objetivos específicos	19
2. INFLUENCIA AMBIENTAL SOBRE LA ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE PECES: ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL	22
2.1. INTRODUCCIÓN	23
2.2. METODOLOGÍA.....	24
2.2.1. Registro de datos ambientales	24
2.2.2. Obtención del material biológico	26
2.2.3. Análisis de los datos.....	27
2.3. RESULTADOS	28
2.3.1. Condiciones ambientales	28
2.3.2. Variaciones espaciales y estacionales en la abundancia de peces	31
2.3.4. Efecto ambiental sobre la distribución espacio-temporal de los peces	35
2.4. DISCUSIÓN	42

2.4.1. Diferencias espaciales y temporales de las variables ambientales	42
2.4.2. Relación entre la distribución de las especies y la variación ambiental	43
2.4.3. Análisis multidimensionales: implicaciones sobre los datos de los peces	46
2.5. CONCLUSIÓN	48
3. PESO-LONGITUD, CRECIMIENTO Y MORTALIDAD NATURAL: ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL TEMPORAL	50
3.1. INTRODUCCIÓN	51
3.2. METODOLOGÍA.....	51
3.2.1. Relación peso-longitud.....	51
3.2.1. Crecimiento von Bertalanffy	52
3.2.1. Mortalidad	52
3.3. RESULTADOS	53
3.3.1. Relación peso-longitud.....	53
3.3.2. Parámetros de la ECVB	57
3.3.3. Mortalidad	64
3.4. DISCUSIÓN	65
3.5. CONCLUSIÓN	67
4. ECOLOGÍA TRÓFICA: ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ONTOGÉNICA	69
4.1. INTRODUCCIÓN	70
4.2. METODOLOGÍA.....	71
4.2.1. Análisis de contenido estomacal	71
4.2.2. Frecuencias de ocurrencia	71
4.2.3. Índice de importancia relativa.....	72
4.2.4. Cambios temporales y ontogénicos	72
4.3. RESULTADOS	73
4.3.1. Composición de dietas.....	73
4.3.2. Variación Temporal y Ontogénica	76
4.3.3. Análisis de Similitud (ANOSIM).....	79
4.4. DISCUSIÓN	81
4.5. CONCLUSIÓN	84

5. PARASITISMO EN PECES COSTEROS IMPLICACIONES EN EL CRECIMIENTO POBLACIONAL: Caso de estudio <i>Lagodon rhomboides</i>	86
5.1. INTRODUCCIÓN	87
5.2. METODOLOGÍA.....	88
5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	88
5.4. CONCLUSIÓN	91
6. SECCIÓN FINAL	93
6.1. CONCLUSIONES GENERALES.....	93
6.2. LITERATURA CITADA.....	95
6.3. ANEXOS	112

RESUMEN GENERAL

Los patrones espaciales y temporales vía análisis multidimensionales no paramétricos, las relaciones de peso-longitud, crecimiento, la mortalidad natural durante un ciclo anual y los patrones temporales y ontogénicos de alimentación de poblaciones de peces costeros fueron analizados en La Carbonera, una laguna cárstica en la costa noroeste de la Península de Yucatán, México. Los peces fueron colectados mensualmente entre abril 2009 y mayo 2010 utilizando una red de cerco de 40 m de largo con una bolsa en el centro. Las especies analizadas fueron *Lagodon rhomboides*, *Sphoeroides testudineus*, *Mugil curema*, *Chriodorus atherinoides*, *Eucinostomus argenteus* y *Eucinostomus gula*. Se comparó la superposición en la abundancia de las especies estudiadas, a lo largo de la laguna definido por la combinación de las variables ambientales (temperatura, salinidad, oxígeno, sólidos disueltos totales, pH, velocidad del viento, y de profundidad), y tres estaciones climáticas (seca, lluviosa, y nortes). La abundancia íctica en relación con las variables ambientales en las diferentes temporadas climáticas se examinó por análisis de redundancia. Los resultados sugieren que la abundancia y la distribución están altamente correlacionadas con variables ambientales. Diferencias significativas entre las variaciones estacionales en las variables ambientales influyeron la dinámica espacial de las especies de peces, afectando la distribución y la abundancia. El escalamiento multidimensional mostró que las especies de peces difieren en su distribución espacial y definiéndose cuatro grupos distintos a lo largo de la laguna. La salinidad y la profundidad fueron las principales variables que explican la variación en la distribución espacial de los peces. La salinidad también se vio afectada y se asocia principalmente con la estación seca. El oxígeno y la temperatura hacen una contribución significativa adicional para el modelo canónico. Estacionalmente, la abundancia y distribución de especies se asociaron con la profundidad (secas), salinidad (lluvias) y oxígeno (nortes) con un factor de correlación de $r = 0.76$, $r = 0.83$, $r = -0.80$, respectivamente. Se obtuvieron las relaciones peso-longitud ($P = aLt^b$), la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy y los parámetros del modelo mediante un análisis de frecuencias de longitudes en las poblaciones. El exponente b indicó un patrón de crecimiento isométrico ($b = 3$; t -test, $p > 0.05$) todo el año. Se estimó la mortalidad natural de las especies estudiadas y se proveen las primeras estimaciones para la Península de Yucatán, lo que es relevante para la adecuada implementación de medidas de conservación de las especies. Se detectó una variación estacional en la composición de la dieta de las especies estudiadas incluso en las mismas clases de tamaño, un posible factor puede ser atribuido a un cambio en la disponibilidad de presas a lo largo de las temporadas, debido a las variaciones estacionales acentuadas en las condiciones ambientales y la productividad del hábitat cárstico estudiado. Se registró por primera vez la incidencia del isópodo *Cymothoa excisa* como parásito y su influencia en el crecimiento poblacional de *Lagodon rhomboides*, indicando que su presencia afecta el crecimiento poblacional lo cual indica que *C. excisa* es un factor de riesgo para las poblaciones de ésta y otras especies de peces en el área de estudio.

GENERAL ABSTRACT

Spatial and temporal patterns using non-parametric multivariate analysis, length-weight relationships, growth and natural mortality during an annual cycle, seasonal feeding patterns and ontogenetic abundant local fish populations were analyzed in La Carbonera, a karstic lagoon on the northwestern coast of the Yucatan peninsula, Mexico. Fishes were collected monthly between April 2009 and May 2010 from 9 sampling stations using a 40 m long seine net with a bag in the center. The species analyzed were *Lagodon rhomboides*, *Sphoeroides testudineus*, *Mugil curema*, *Chriodorus atherinoides*, *Eucinostomus argenteus* and *Eucinostomus gula*. We compared the overlap in the abundance of fish species throughout the lagoon according to combinations of environmental variables (temperature, salinity, oxygen, total dissolved solids, pH, wind velocity, and depth), and three climatic seasons (dry, rainy, and north winds). Significant differences between inter-seasonal variations in the environmental variables influenced the spatial dynamics of the fish species, affecting their distribution and abundance. Multidimensional scaling showed that fish species differed in their spatial distribution and cluster analysis defined our distinct groups of spatial distribution throughout the lagoon. The abundance in relation to the environmental variables in different climatic seasons was examined by redundancy analysis. Results suggest that abundance and distribution were highly correlated with environmental variables. Salinity and depth were the main variables explaining variation in the spatial distribution of fishes. The salinity was also affected and associated mainly with the dry season. Oxygen and temperature made an additional significant contribution to the canonical model. Seasonally, species abundance and distribution were strongly associated with depth (dry season), salinity (rainy season) and oxygen (north winds season) with a correlation factor of $r = 0.76$; $r = 0.83$; $r = -0.80$ respectively. Length-weight relationships ($W = aL^b$) were obtained. Growth was estimated by the growth equation of von Bertalanffy and the model parameters were obtained through a frequency analysis of lengths. The exponent b indicated a pattern of isometric growth ($b = 3$; t-test, $p > 0.05$) throughout the year. Natural mortality was estimated, providing the first estimates for natural mortality in the Yucatan peninsula, a finding which is relevant to the effective implementation of conservation measures for the species. A seasonal variation was detected in the composition of the diet of the species studied, even in the same size class. A possible reason for this could be attributed to the change in prey availability throughout the seasons due to sharp seasonal variation in environmental conditions and the productivity of the karstic habitat studied. The incidence of the isopod parasite *Cymothoa excisa* and its influence in the population growth of *Lagodon rhomboides* was also recorded for the first time. Findings indicate that the presence of the isopod parasite affects population growth, which suggests that *C. excisa* is a risk factor for populations of this and other fish species in the study area.



CAPITULO I - Tesis Doctoral



SECCIÓN INTRODUCTORA

CAPÍTULO 1

1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En la terminología aplicada a la zona costera es común definir laguna costera como un cuerpo de agua de mar somero ubicado sobre una depresión de la costa, que mantiene comunicación con el mar adyacente a través de uno o varios canales y que está protegida por una porción de tierra emergida con forma, composición y origen variado (Kjerfve, 1994). El que sean cuerpos semi-encerrados implica que los patrones de circulación del agua están influidos considerablemente por las fronteras laterales; permitiendo así distinguir a las lagunas costeras de cuencas de mayor tamaño como una bahía o un golfo (Farreras, 2004).

Las lagunas costeras son ecosistemas que se encuentran entre los más productivos y complejos del planeta debido a la libre comunicación entre el océano y el estuario que permite el intercambio de materia, además de la transmisión de la energía proveniente de las mareas que ocurre en todos los estados de marea y durante todas las estaciones del año (Farreras, 2004). Las lagunas costeras suelen tener una alta variabilidad ambiental que influye en pequeñas y grandes escalas espaciales y temporales. Por esta razón, se ha sugerido que las comunidades biológicas se encuentran influenciadas principalmente por las fluctuaciones en las características físicas y químicas (Kupschus y Tremain, 2001).

México presenta 123 lagunas costeras mayores según los criterios geomorfológicos basados en el origen y formación de la depresión. Particularmente en la costa de la península de Yucatán se encuentra una franja de unas 13,600 hectáreas de humedales que se inundan de manera temporal o permanente (Contreras-Espinosa y Warner, 2004), y en la que existen nueve lagunas costeras, con presencia de salidas de agua con vertientes internas (Lankford, 1976). Debido al régimen de precipitación, de temperatura y considerando las características de los vientos dominantes en esta región, se pueden identificar tres temporadas climáticas con condiciones propias que

marcan su diferencias; siendo éstas las secas (entre marzo y junio), las lluvias (entre julio y octubre) y los nortes (entre noviembre y febrero).

El estudio de los peces en las lagunas costeras reviste un gran interés económico y ecológico (Pérez-Ruzafa y Marcos, 2012). Muchas de las especies costeras tropicales de importancia pesquera dependen parcial o totalmente de las zonas estuarinas (Rodríguez y Villamizar, 2006) ya que los peces utilizan estos sistemas en diferentes formas dependiendo de sus estrategias de vida, alimentarias y/o reproductoras (Yáñez-Arancibia, 1986).

La estructura de las comunidades de peces que habitan en las lagunas costeras sufren alteraciones importantes producto de cambios en el hábitat, la calidad del agua y pérdida de volumen de agua (Mercado-Silva *et al.*, 2006). No debemos olvidar que estas alteraciones, no solamente representan cambios en la composición de las especies presentes, sino que constituyen modificaciones a los atributos funcionales de la comunidad, y por lo tanto modifican las relaciones inter-específicas que se establecen en el ecosistema. La distribución de la fauna íctica responde a diversos factores, como son las condiciones hidrológicas. Dentro de éstas, la salinidad es la principal barrera física que determina la ocurrencia de los organismos (Vega-Cendejas y Hernández, 2004) ya sea delimitando zonas al interior de la laguna, o modificándolas a lo largo del año. Sin embargo, hay un conjunto de factores que resultan importantes para definir la distribución de los peces de acuerdo con la preferencia del hábitat (Tse *et al.*, 2008).

El estudio de los peces considerando las características biológicas de las diferentes especies, en un marco que permita hacer referencia a los requerimientos de hábitat y tolerancia a los niveles de los parámetros que definen la calidad del agua, permite comprender aspectos importantes acerca del funcionamiento del ecosistema (Soulé, 1990). Esta información, aunada a la medición de valores de riqueza y diversidad de especies son la base sobre la cual se establecen las regulaciones para el uso de los recursos acuáticos.

En este trabajo se aborda la importancia que tiene la variación ambiental sobre los cambios en la distribución espacial y temporal de seis especies de peces (*Lagodon rhomboides*, *Chriodorus atherinoides*, *Sphoeroides testudineus*, *Mugil curema*, *Eucinostomus argenteus* y *E. gula*) presentes en la zona costera de Yucatán a lo largo de un período de un ciclo anual. Se presentan 4 capítulos de trabajo, donde el capítulo segundo aborda la importancia que tiene la variación ambiental y la distribución espacial y temporal de seis especies de peces a lo largo de un período de un ciclo anual en la laguna de la Carbonera. El tercer capítulo, está encaminado a explorar la fluctuación que presentan las seis poblaciones, así como evaluar su crecimiento poblacional en el área de estudio y determinar cuáles son los principales parámetros que estructuran su población. El cuarto capítulo hace referencia a la función trófica de las especies de peces, incluyendo sus componentes alimenticios, así como los principales gremios tróficos que se presentan en el sistema lagunar y determinar la variación ontogénica y temporal. El quinto capítulo nos hace referencia a la influencia del parasitismo en una población y comprobar si es un probable factor de riesgo para dicha población en el área de estudio.

1.2. ANTECEDENTES

En las zonas cercanas a la costa de los sistemas lagunares ocurre la renovación de aguas oceánicas, mientras que en las internas, las propiedades de las masas de agua presentes pueden cambiar, por ejemplo, el incremento en la salinidad producto de evaporación favorecida por la radiación solar, así como del influjo de agua dulce a través del manto freático (afloramientos). Debido a estos cambios ambientales que juegan un papel fundamental en los sistemas costeros, en cuanto al desarrollo ecológico, estructural y funcional de muchas especies de peces asociadas se han realizados muchos trabajos en diferentes tópicos.

En la región costera de la península de Yucatán se han realizado trabajos que presentan registros de la dinámica de comunidades de peces en lagunas costeras (Vega-Cendejas y Hernández de Santillana, 2004; Arceo-Carranza y Vega-Cendejas, 2009), y de ictiofauna asociada a petenes costeros (Torres-Castro *et al.*, 2009). También se han presentado algunos aspectos ecológicos de los peces del litoral costero y de la zona marina de arrecife de Alacranes (Hildebrand *et al.*, 1964; Garduño, 1984, 1988; González-Salas, 1999; Valtierra y González-Gándara, 2001; González-Gándara y Arias-González (2001). González-Gándara *et al.* (2003) estudiaron la relación largo-peso de los peces en arrecifes; González-Gándara y Arias-González (2004) estudiaron la composición, distribución y abundancia de los peces de la familia Pomacentridae. Vega-Cendejas (2004) registró la ictiofauna de la reserva de Celestún; Vega-Cendejas y Hernández de Santillana (2004) estudiaron la estructura y dinámica de la comunidad de peces en Río Lagartos; Pérez-León y Schmitter-Soto (2007) analizaron la distribución y taxonomía de peces poecílidos en el norte y oriente de la península de Yucatán. Palacios y Vega-Cendejas (2005) elaboraron un manual ilustrado de peces del litoral de Yucatán, que corresponden a las zonas no protegidas de la costa y de mayor influencia antropogénica. Entre las variables reportadas que determinan la distribución espacio-temporal de los peces se encuentran aquellos como la salinidad (Young *et al.*, 1997; Marshall y Elliott, 1998; Kupschus y Tremain, 2001; Martino y Able, 2003; Jaureguizar *et al.*, 2004; Vega-Cendejas y Hernández de

Santillana, 2004; Akin *et al.*, 2005; Barletta *et al.*, 2005; Islam *et al.*, 2006; Salleslagh y Amara, 2008) y temperatura (Blaber, 1997; Atrill y Power, 2004; Jaureguizar *et al.*, 2004; LaPeyre y Birdsong, 2008).

Se ha estudiado en la región las variaciones temporales sobre los atributos de las comunidades de peces como el estado trófico (Jeppesen *et al.*, 2005), la complejidad de las tramas tróficas y los cambios en la abundancia del conjunto de presas disponibles (Johnson y Kitchell, 1996), en respuesta a los cambios hidrodinámicos y termodinámicos. Otros trabajos publicados se refieren a los hábitos de alimentación de los peces: Vega-Cendejas *et al.* (1997) analizaron la biología alimenticia y reproductiva de *Opisthonema oglinum* en las costas de Celestún, Valtierra-Vega y Schmitter-Soto (2000) estudiaron los hábitos alimentarios de las mojarras (Perciformes: Cichlidae) de la laguna Caobas, Quintana Roo; Giménez *et al.* (2001) describen la conducta alimentaria del mero; Vega-Cendejas (2001, 2003) trabajó sobre la dinámica trófica elaborando un modelo conceptual de la red alimentaria de una comunidad de manglar de la laguna de Celestún. Canto-Maza y Vega-Cendejas (2007) analizaron la distribución, abundancia y las preferencias alimenticias en la laguna costera de Chelem, Yucatán; así posteriormente también como de *Lagodon rhomboides* en el mismo sistema lagunar (Canto-Maza y Vega-Cendejas, 2008).

Se han reportado trabajos relacionado al análisis del crecimiento y de la mortalidad natural únicamente en *L. rhomboides* en la península de Florida, parte noreste del Golfo de México (Nelson, 1998 y 2002). Estudios sobre alimentación de peces, en particular los enfocados directamente a la dieta y hábitos alimentarios, proporcionan información para estimar el funcionamiento trófico de un ecosistema, o sea, el conjunto de depredación y competencia entre organismos (Muncy, 1984; Carpenter, 2002). Además de plantear una herramienta para el desarrollo de técnicas de manejo de comunidades ícticas dedicadas al mejoramiento de la producción pesquera o manejo sustentable de zonas costeras.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Para poder analizar la manera en la que funciona una comunidad íctica es necesario identificar varios atributos de cada una de las especies que la componen. En varios trabajos en los que se estudia el funcionamiento de las comunidades de peces suelen agruparse a las diferentes especies en categorías que describen el origen biogeográfico, los hábitos alimentarios, el hábitat preferido por cada especie, las características reproductoras, la tolerancia a las modificaciones de hábitat por causas antropogénicas o el estado de salud de los individuos de una población (Mercado-Silva *et al.*, 2006).

La información que se presenta en este estudio permite caracterizar el entorno en el que habita cada una de las especies para sugerir las preferencias del hábitat y contestar preguntas como: ¿Qué temporadas climáticas y qué lugares constituyen el hábitat preferido de las especies de peces? ¿Cuál es la magnitud de las variaciones de la abundancia poblacional que muestran los peces que habitan en un sistema lagunar durante las diferentes temporadas climáticas? ¿Cuáles son las características físico-químicas del ambiente que permiten explicar dichas variaciones?

Algunos de los humedales costeros de Yucatán han sido declarados como sitios Ramsar por lo que el uso adecuado de este patrimonio trasciende el ámbito nacional. Dado que es necesario generar los planes de manejo de los recursos de esta zona, este estudio adquiere relevancia en el ámbito regional y puede servir como modelo a escala para formular la metodología que permita integrar la información ambiental, biológica y ecológica que genera una dinámica muy particular, misma que ha sido poco estudiada.

1.4. ÁREA DE ESTUDIO Y ESPECIES ANALIZADAS

1.4.1. Área de estudio

La laguna de la Carbonera se ubica en el litoral noroccidental de la península de Yucatán (21°13'58" N, 89°53'23" O; Fig. 1) y forma parte del extenso humedal que pertenece a un corredor creado para la protección de la biodiversidad costera. Situado sobre una plataforma cárstica, este sistema litoral marino biogénico (Batllori-Sampedro *et al.*, 2006) está conectado de forma permanente con el mar por una estrecha boca que se formó a consecuencia de las precipitaciones causadas por el huracán Gilberto a su paso por las costas yucatecas en 1988. La laguna tiene una longitud de poco más de 4 km en la sección paralela a la línea de costa y de 3.5 km en su parte más ancha, perpendicular a la costa. Se caracteriza por tener aguas someras (0.25 – 0.75 m) y su hidrología está determinada principalmente por el aporte de agua del golfo de México y, en menor grado, por los afloramientos de agua subterránea, la precipitación y las escorrentías que, de forma combinada, permiten la existencia de cuatro zonas caracterizadas por variaciones diferenciales de la marcha anual de la temperatura y la salinidad (Jerónimo *et al.*, 2012).

Este cuerpo de agua está rodeado tanto por extensiones de la sabana yucateca y por manglares típicos de la franja marina y lagunar que permiten la existencia de una gran variedad de micro-hábitats, estructuras de refugio y alimento por lo que es utilizado por muchas especies para su alimentación, crianza y reproducción. Uno de los grupos taxonómicos más conspicuo es el de los peces, que son un componente importante del sistema debido a su alto grado de interacción con el resto de la biota considerando que ocupan varios niveles de la red trófica.

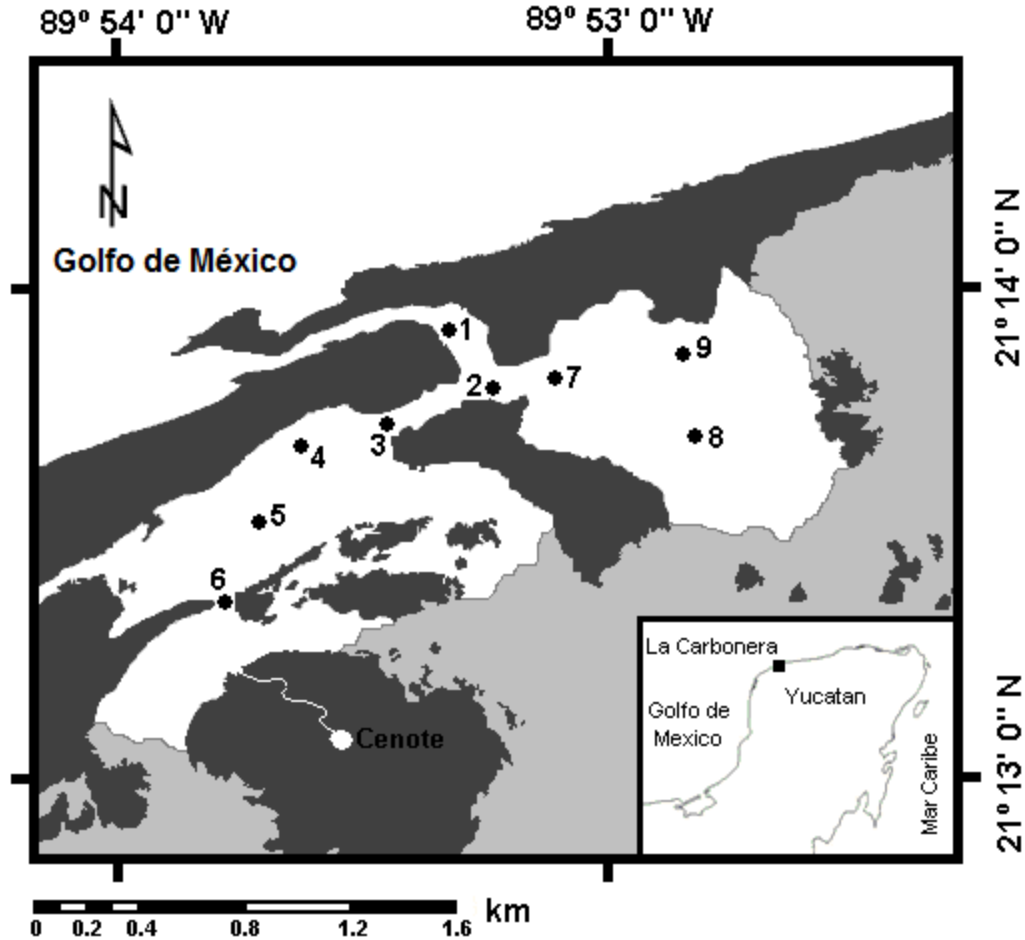


Fig. 1. Mapa de la laguna costera La Carbonera, Yucatán, México con las estaciones de muestreos. Se observa un afloramiento de agua dulce subterránea llamados localmente “cenote”. Las líneas indican el nivel máximo del agua en la estación de lluvias, la zona gris suave son humedales y las zonas más negras son parches de manglares.

1.4.2. Especies estudiadas

El monitoreo mensual de largo plazo ha permitido registrar alrededor de 108 especies de peces que utilizan la laguna de forma temporal o permanente (Gallardo *et al.*, 2012). De acuerdo con el índice de valor de importancia (IVI), las siguientes especies se encuentran entre las más abundantes y se encuentran presentes durante todo el año: *Lagodon rhomboides*, *Chriodorus atherinoides*, *Sphoeroides testudineus*, *Mugil curema*, *Eucinostomus argenteus* y *Eucinostomus gula* (Fig. 2).

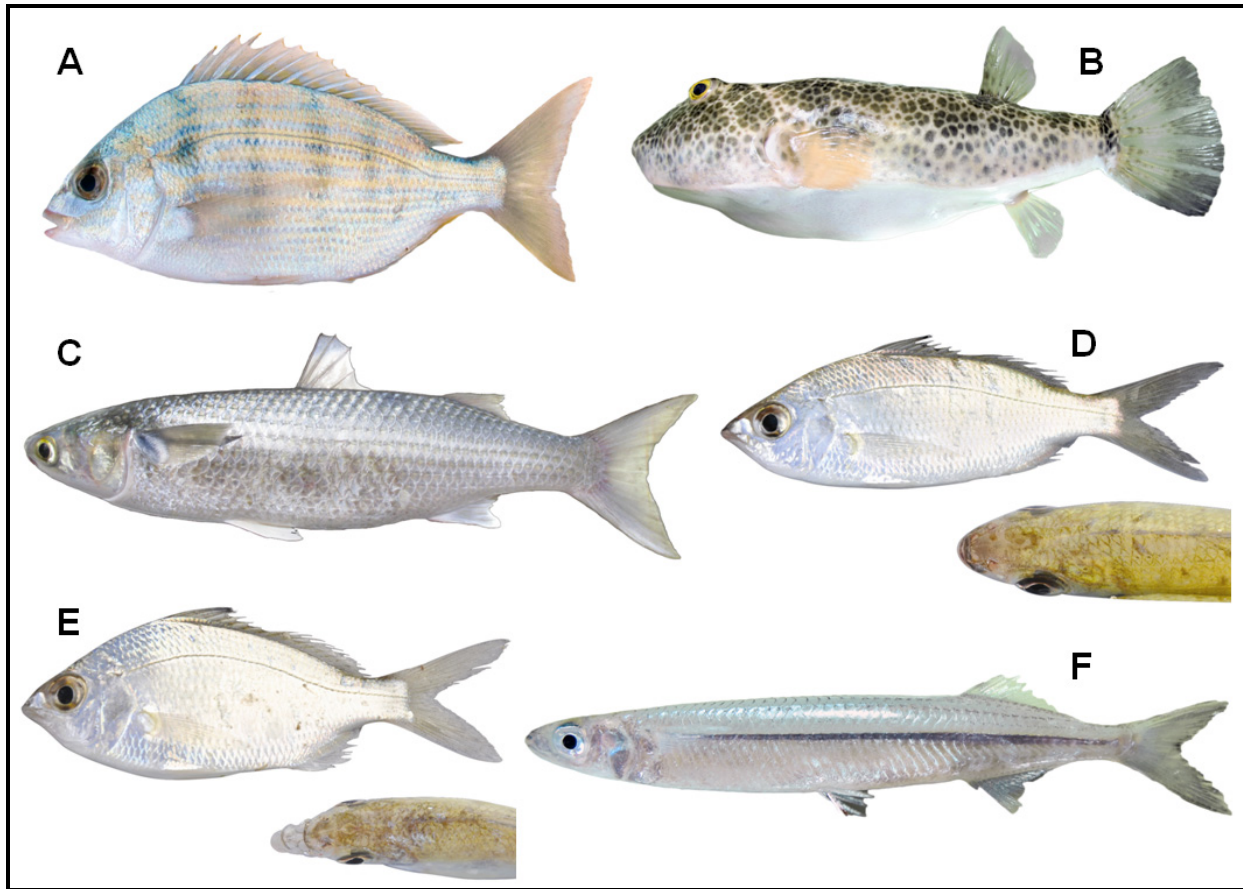


Fig. 2. Especies analizadas en la laguna La Carbonera, Yucatán, México. A) *Lagodon rhomboides*; B) *Sphoeroides testudineus*; C) *Mugil curema*; D) *Eucinostomus argenteus*; E) *Eucinostomus gula*; F) *Chriodorus atherinoides*. [Fotos: ©Maribel Badillo en Gallardo-Torres et al. (2012)].

1.4.2.1. *Lagodon rhomboides*



[Fuente: Gallardo-Torres *et al.* (2012)]

❖ Datos generales

Se le conoce coloquialmente como: Pinfish (inglés), sargo y localmente “xlavita” en lengua maya. Pertenece a la familia Sparidae. Su distribución comprende desde Massachusetts, Florida y Bermudas, incluyendo el golfo de México, Yucatán y la costa norte de Cuba.

1.4.2.2. *Sphoeroides testudineus*

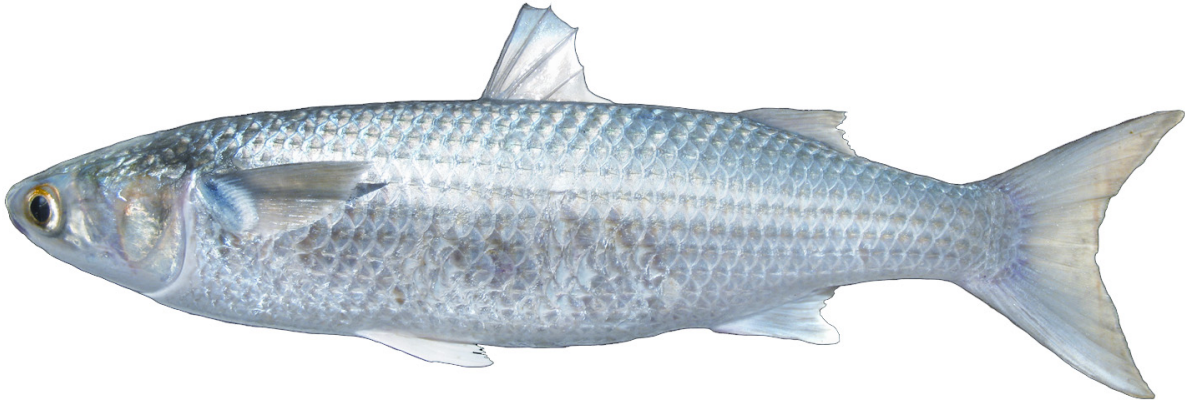


[Fuente: Gallardo-Torres *et al.* (2012)]

❖ Datos generales

Se le conoce coloquialmente como: Checkered puffer (inglés), pez globo y localmente “xpú” en lengua maya. Pertenece a la familia Tetraodontidae. Su distribución comprende las costas de Florida y las Antillas, el banco de Campeche, la península de Yucatán y desde las costas de Centroamérica hasta Santos, Brasil.

1.4.2.3. *Mugil curema*



[Fuente: Gallardo-Torres *et al.* (2012)]

❖ Datos generales

Se le conoce coloquialmente como: White mullet (inglés) y lisa blanca (español). Pertenece a la familia Mugilidae. Su distribución comprende todo el Atlántico central Occidental, incluyendo Bermuda, el Caribe, el golfo de México, península de Yucatán y las costas de Centroamérica hasta la costa sur de Brasil.

1.4.2.4. *Chriodorus atherinoides*



[Fuente: Gallardo-Torres *et al.* (2012)]

❖ Datos generales

Se le conoce coloquialmente como: Hardhead halfbeak (inglés), pez pajarito cabezidura y pejerrey (español). Pertenece a la familia Hemiramphidae. Su distribución comprende las aguas alrededor de los cayos de la Florida, las Bahamas, Campeche, península de Yucatán, Belice y la costa norte de Cuba.

1.4.2.5. *Eucinostomus argenteus*



[Fuente: Gallardo-Torres *et al.* (2012)]

❖ Datos generales

Se le conoce coloquialmente como: Spotfin mojarra (inglés) y mojarra plateada. Pertenece a la familia Gerreidae. Su distribución comprende desde Nueva Jersey hasta península de Yucatán, el Caribe, las Antillas y desde Centroamérica hasta las costas sur de Brasil.

1.4.2.6. *Eucinostomus gula*



[Fuente: Gallardo-Torres *et al.* (2012)]

❖ Datos generales

Se le conoce coloquialmente como: Jenny mojarra (inglés), mojarrita española. Pertenece a la familia Gerreidae. Su distribución comprende desde Massachusetts hasta el sur de Argentina, incluyendo todo el golfo de México, Centroamérica, las Antillas y el Caribe.

1.5. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Analizar la dinámica espacial, temporal y estructura trófica de peces costeros y su sincronización con las características físico-químicas e hidrodinámicas en la laguna de La Carbonera, Yucatán.

1.5.1. Objetivos específicos

1.5.1.1. Capítulo II

- Determinar las características físicos-químicas e hidrodinámicas en la laguna de La Carbonera y su variabilidad espacial y en las diferentes temporadas climáticas (secas, lluvias y nortes).
- Analizar la variación espacio-temporal de la composición, distribución, abundancia relativa de las especies de peces estudiadas en las diferentes temporadas climáticas.
- Identificar las variables ambientales más influyentes en el patrón de distribución de las poblaciones estudiadas en las diferentes temporadas climáticas.

1.5.1.2. Capítulo III

- Determinar las relaciones peso-longitud de las especies estudiadas.
- Estimar los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy de las especies estudiadas.
- Estimar la mortalidad natural en las especies estudiadas.

5.1.1.3. Capítulo IV

- Identificar la composición de las dietas de las especies estudiadas.
- Determinar las diferencias ontogénicas y por temporada climática en las dietas.

5.1.1.4. Capítulo V

- Describir la implicación sobre la alimentación la presencia parasitaria del isópodo *Cymothoa excisa* en *Lagodon rhomboides* y los efectos sobre la relación del peso-longitud.



**INFLUENCIA AMBIENTAL SOBRE LA ABUNDANCIA Y
DISTRIBUCION DE PECES:**

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL

CAPÍTULO 2

INFLUENCIA AMBIENTAL SOBRE LA ABUNDANCIA Y DISTRIBUCION DE POBLACIONES LOCALES DE PECES EN LA LAGUNA LA CARBONERA: ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL

Resumen

Patrones espaciales y temporales de seis poblaciones locales de peces abundantes fueron analizados en La Carbonera, una laguna cárstica en la costa noroeste de la península de Yucatán, México. Los peces fueron colectados mensualmente entre abril 2009 y mayo 2010 utilizando una red de cerco de 40 m de largo con una bolsa en el centro, las poblaciones analizadas eran de *Lagodon rhomboides*, *Sphoeroides testudineus*, *Mugil curema*, *Chriodorus atherinoides*, *Eucinostomus argenteus* y *Eucinostomus gula*. Las variables ambientales (temperatura, salinidad, oxígeno, sólidos totales disueltos, el pH, velocidad del viento y profundidad) se registraron. Las variaciones en los variables ambientales espaciales y estacionales (secas, lluviosa y vientos nortes) se analizaron mediante varias técnicas multidimensionales a través de los programas CANOCO 4.5 y PRIMER 5. Diferencias significativas entre las variaciones estacionales en las variables ambientales influenció la dinámica espacial de las especies de peces, afectando la distribución y abundancia. El escalamiento multidimensional mostró que las especies de peces difieren en sus distribuciones espaciales y el análisis de conglomerados definió cuatro grupos distintos de distribución espacial a lo largo de la laguna. La abundancia en relación a las variables ambientales en diferentes estaciones climáticas se examinó mediante análisis de redundancia. La salinidad y la profundidad fueron las principales variables que explican la variación en la distribución espacial de los peces. La salinidad fue influenciada y se asoció principalmente también con la estación seca. El oxígeno y la temperatura hicieron una contribución adicional significativa al modelo canónico. Estacionalmente, la abundancia de especies y la distribución se asociaron fuertemente con la profundidad (estación seca), salinidad (estación lluviosa) y oxígeno (estación de vientos nortes) con un factor de correlación de $r = 0.76$, $r = 0.83$, $r = -0.80$, respectivamente. Los resultados no difieren significativamente cuando se analiza el mismo juego de datos de abundancia de peces y variables abióticas con diferentes técnicas multidimensionales.

2.1. INTRODUCCIÓN

La península de Yucatán tiene numerosas lagunas costeras, pero su estructura y función están siendo modificados por la descarga de aguas residuales, bombeo de agua subterránea, y los cambios de uso del suelo (Herrera-Silveira y Morales Ojeda, 2010). Por lo general son aguas con una tranquila hidrodinámica, las cuales son esenciales para muchos peces juveniles y adultos (Day *et al.*, 1989). El conocimiento de la respuesta de estos peces a cambios en las condiciones ambientales pueden contribuir a nuestra comprensión de los efectos potenciales de los impactos antropogénicos sobre las especies de peces estuarinos (Selleslagh y Amara, 2008).

Los patrones espaciales de la ictiofauna puede ser vistas como una referencia de un ensamblaje para las lagunas tropicales cársticas (Medina-Gómez y Herrera Silveira, 2003). En Yucatán, existe información disponible sobre ensambles de peces en sistemas tropicales costeros influenciados por aportaciones de agua dulce (Arceo-Carranza y Vega-Cendejas, 2009; Arceo-Carranza *et al.*, 2010) y los ensambles de peces en una laguna costera hipersalina (Vega-Cendejas y Hernández de Santillana, 2004).

Hay muchos estudios sobre ensamblajes de peces en los sistemas templados (Martino y Abel 2003), pero existe poca información acerca de los sistemas estuarinos tropicales cársticos, especialmente a lo largo de la costa noroeste de la península de Yucatán. Varias especies han sido descritas como "abundantes" en las lagunas costeras de Yucatán, las cuales han contribuido con más del 50% si se considera el índice de valor de importancia del total de las especies de peces (Arceo-Carranza y Vega-Cendejas, 2009; Vega-Cendejas *et al.*, 2012). Sin embargo, pocos estudios analizan la dinámica de las poblaciones de peces lagunares con las posibles correlaciones de las variabilidad hidrológica (Ruetz *et al.*, 2005).

En término de las temporadas climáticas, la península de Yucatán cuenta con tres temporadas marcadas anualmente: secas, lluvias y los nortes (Vega-Cendejas *et al.*, 2012). En pequeñas lagunas cársticas costeras de la península de Yucatán, la

estación de secas, que es también la más caliente, reduce el hábitat disponible para los peces siendo reducido y alterado (Tapia *et al.*, 2008). La Carbonera, una de estas pequeñas lagunas costeras cársticas, es un ambiente de transición entre el suelo cárstico y un hábitat marino con alta variabilidad ambiental en escalas de corto tiempo.

El objetivo del presente capítulo es analizar los patrones espaciales y temporales en las poblaciones locales de seis peces abundantes y evaluar el papel de las variables ambientales en tres temporadas a lo largo de la laguna La Carbonera. Las especies son: *Lagodon rhomboides*, *Sphoeroides testudineus*, *Mugil curema*, *Chriodorus atherinoides*, *Eucinostomus argenteus* y *Eucinostomus gula*. El propósito de este capítulo también es abordar la siguiente hipótesis: ¿Habrá un mayor traslape en la distribución y abundancia de estas especies a lo largo de la laguna en la temporada de secas con respecto a las demás temporadas climáticas?

2.2. METODOLOGÍA

2.2.1. Registro de datos ambientales

El muestreo fue mensual entre abril de 2009 y mayo de 2010, en nueve estaciones de muestreo (ver Fig. 1). Se identificaron, cuatro tipos de hábitat se identificaron en las nueve estaciones de acuerdo con Peralta-Meixueiro y Vega-Cendejas (2011), que se basan en substrato, la salinidad, la vegetación: hiperhalinos, algas marinas, el canal, y manglares (Tabla 1).

Se registró la temperatura del agua (°C), la salinidad, el pH, la concentración de oxígeno disuelto (mg/L) y sólidos disueltos totales (SDT, mg/L) en cada estación de muestreo con un analizador multiparámetros Yellow Springs Instrument (YSI), modelo 556 MPS. La velocidad del viento (km/h) se determinó con un anemómetro (modelo: Sper Scientific 850070). De igual manera se determinó la profundidad (cm) en cada estación de muestreo (Fig. 3).

Tabla 1. Ubicación geográfica de las estaciones y características de los diferentes hábitats presentes en la laguna La Carbonera, México. *Refiere al porcentaje de cobertura en cada hábitat.

Estación	Latitud N	Longitud O	Hábitat – Vegetación	Tipo de sustrato
1	21° 13' 57.2"	89° 53' 25.0"	Canal – Arbustos (70%)*	Rocoso, Arenoso
2	21° 13' 48.2"	89° 53' 20.5"	Manglares (60%) – Arbustos (40%)*	Arenoso
3	21° 13' 46.5"	89° 53' 26.2"	Canal – Arbustos (40%)*	Fangoso
4	21° 13' 45.3"	89° 53' 35.8"	Pasto (70%) – Manglares (30%)*	Arenoso, Fangoso
5	21° 13' 37.3"	89° 53' 42.5"	Hiperhalino – Pasto (50%)*	Fangoso
6	21° 13' 23.9"	89° 53' 50.4"	Canal – Arbustos (40%)*	Arenoso
7	21° 13' 50.8"	89° 53' 11.6"	Canal – Pasto (50%)*	Arenoso
8	21° 13' 47.9"	89° 52' 52.7"	Hiperhalino – Pasto (60%)*	Arenoso
9	21° 13' 56.9"	89° 52' 53.0"	Manglares (60%) – Arbustos (40%)*	Fangoso



Fig. 3. Registro de los parámetros ambientales *in situ* en la laguna de la Carbonera, Yucatán. [Fotos: Maribel Badillo; José Gómez-Valdés].

2.2.2. Obtención del material biológico

Los juveniles de *L. rhomboides*, *S. testudineus*, *M. curema*, *C. atherinoides*, *E. argenteus* y *E. gula* fueron capturados mensualmente en cada estación en una red de cerco 40 m con una profundidad de 1 metro y 1.27 cm de apertura de la malla (Permiso de pesca de fomento No. DGOPA/04031/310510. 1940; Fig. 4). El área de muestreo en cada estación fue de 400 m² y la red fue arrastrada una sola vez. Todos los lugares fueron muestreados dentro de un período de 6 horas durante la marea alta en el mismo día. Los especímenes recolectados fueron colocados en hielo y separados por estación en bolsas y frascos de plástico debidamente etiquetados y fijados en formaldehído (4%). Posteriormente se transportaron al laboratorio, donde fueron identificados y se pesaron (± 0.01 g precisión) para determinar la biomasa. Se obtuvo la abundancia mensual de todas las especies presentes en cada estación de muestreo para calcular la abundancia relativa y la frecuencia de ocurrencia, expresadas como porcentajes, de las seis especies analizadas en este estudio. De acuerdo con Castro-Aguirre (1999), todas ellas se consideran marinas eurihalinas.



Fig. 4. Arrastres realizados para la colecta de peces en la laguna de la Carbonera, Yucatán. [Foto: Daniel Arceo-Carranza].

2.2.3. Análisis de los datos

Los datos variables ambientales fueron agrupados por mes y por estación de muestreo, pero en dos análisis de manera independiente. ANOVA de una vía evaluaron las diferencias estacionales y espaciales en los datos ambientales (Zar, 1999). Los análisis fueron realizados a través del programa STATISTICA 7.0 (StatSoft Inc., 2004).

Los análisis multidimensionales de los datos de la abundancia espacial de las especies de peces se realizaron a través del programa PRIMER 5 (Clarke y Gorley, 2001). Diferencias entre las muestras se calcularon con una matriz de disimilitud de Bray-Curtis usando abundancias de peces de especies (con una transformación de raíz cuarta). Esta disimilitud fue representada gráficamente mediante análisis de agrupamiento (usando la vinculación del grupo-medio basado en disimilitud de Bray-Curtis); la cual fue utilizada para definir grupos de las preferencias espaciales y los plots de ordenación de especies (utilizando las abundancias totales).

Una matriz de similitud se utilizó para generar un gráfico de ordenación escalado multidimensional no métrico (MDS) (Kruskal y Wish, 1978). El MDS construyó una ordenación de dos dimensiones en una manera que representó las mejores relaciones entre las muestras en la matriz de similitud (Field *et al.*, 1982; Clarke y Warwick, 2001). En los plots de ordenación, la distancia relativa entre los puntos refleja la disimilitud de abundancia de las especies en las muestras. El MDS se verificó teniendo en cuenta el valor de *stress*: los valores bajos (< 0.1) sugieren buenas separaciones entre los grupos, mientras que los valores más altos (> 0.2) indican que los resultados deben ser interpretados con precaución (Clarke y Warwick, 2001).

Análisis de correspondencia sin tendencia (DCA) de los datos de abundancia de las especies evaluó la longitud de los gradientes (ter Braak y Prentice 2004), que fueron 1.12 para el primer eje y < 2 por el resto de los ejes, lo que sugiere un modelo de respuesta lineal (Leps y Šmilauer, 2003). Sobre esta base, el análisis de redundancia (RDA) examinaron las relaciones entre las variables ambientales presentadas en la laguna y también la relación entre la abundancia de especies y

estaciones de muestreo, utilizando el programa CANOCO para Windows 4.5 (ter Braak y Šmilauer 2002). Los cálculos en el RDA se realizaron con una transformación logarítmica [$y' = \log(a * y + b)$], centrado de cada especie y se llevó a cabo sin centrado en las muestras. El escalamiento fue centrado en distancias entre muestras y no había posterior a la transformación de las puntuaciones de las especies. El RDA utilizó la opción de matriz de correlación y el escalado se llevó a cabo con una correlación en un triplot de ordenación. La significancia de cada variable ambiental fue probada a través de 499 permutaciones sin restricciones de Monte Carlo.

2.3. RESULTADOS

2.3.1. Condiciones ambientales

Datos mensuales (Figuras 5 y 6) se agruparon por temporada para el análisis estadístico. La temperatura promedio (Fig. 2) fueron más altas en los meses lluviosos, especialmente agosto (34.2 °C) y octubre (32.6 °C), y fueron los más bajos cuando los vientos del norte se impuso, con un mínimo de 20.3 °C en febrero. No se observaron variaciones de la temperatura entre las estaciones ($p > 0.05$).

La salinidad promedio fue 35.1 (intervalo 3.8 a 52.7) durante todo el periodo de muestreo y se observó una variación mensual significativa (Fig. 5), más sin embargo no se observaron diferencias espaciales ($p > 0.05$).

El oxígeno disuelto varió significativamente con la estación y con la estación (Tabla 2), pero no mostró un patrón temporal, con alto y más bajo significa valores que ocurren en agosto y septiembre (Fig. 5).

Los SDT y el pH presentaron variaciones significativas con los valores promedios mensuales entre 27 a 35 mg/L y 8.02 a 8.19 respectivamente. De igual manera no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre estaciones (Fig. 5).

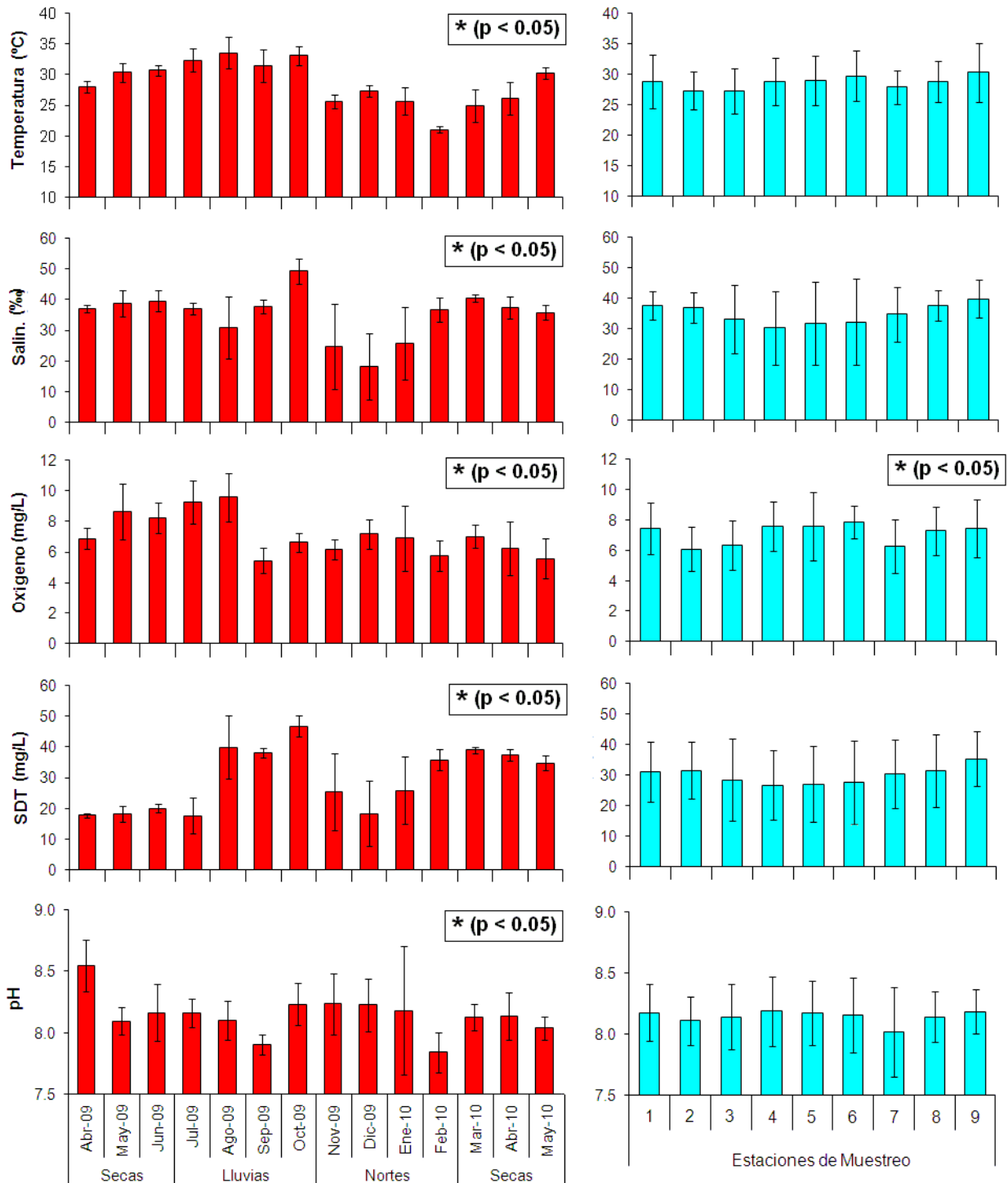


Fig. 5. Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del promedio de las variables ambientales (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales y pH) en la laguna La Carbonera. Los valores mensuales para cada variable son un promedio para todas las estaciones. Los valores para cada estación es el promedio para todo el periodo de estudio. * = Refiere a las diferencias significativas entre meses y entre las estaciones ($p < 0.05$).

La profundidad mostró diferencias estacionales y espaciales (Tabla 2; Fig. 6), presentado poca profundidad durante la estación seca. Espacialmente se observaron profundidades someras en las estaciones 1, 4 y 5; mientras que mayores profundidades se presentaron en las estaciones 3 y 7.

La velocidad del viento fue homogénea entre las estaciones de muestreo ($p > 0.05$), pero se observaron variaciones con las variaciones de temporada (Fig. 6).

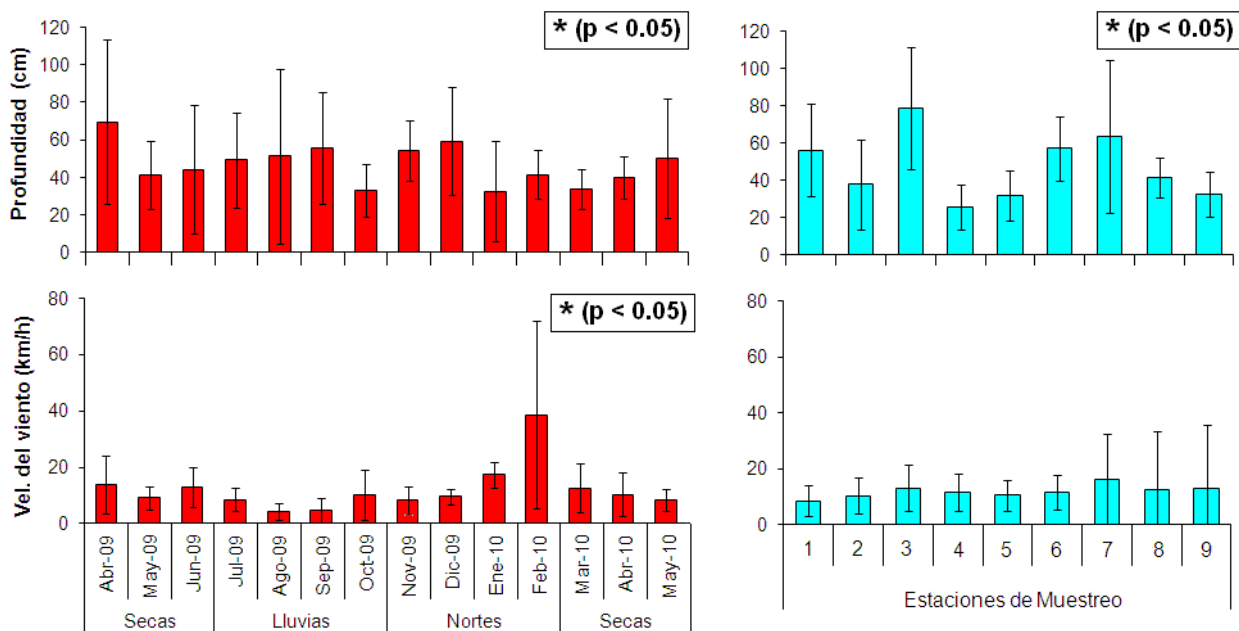


Fig. 6. Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) del promedio de la profundidad y la velocidad del viento en la laguna La Carbonera. Los valores mensuales para cada variable son un promedio para todas las estaciones. Los valores para cada estación es el promedio para todo el periodo de estudio $*$ = diferencias significativas entre meses ($p < 0.05$).

Tabla 2. Resultados de las ANOVAs de una-vía para probar diferencias significativas (*; $p < 0.05$) espaciales y temporales en las variables ambientales registradas en la laguna La Carbonera.

Variables / Resultados	Espacial (n = 9)	Temporal (n = 3)
Temperatura		
<i>F</i>	1.276	*72.16
<i>p</i>	0.263	<0.001
Salinidad		
<i>F</i>	1.471	*29.705
<i>p</i>	0.175	<0.001
Oxígeno disuelto		
<i>F</i>	*1.900	*4.099
<i>p</i>	0.046	0.019
TDS		
<i>F</i>	0.772	*5.255
<i>p</i>	0.628	0.006
pH		
<i>F</i>	0.700	*3.185
<i>p</i>	0.650	0.013
Profundidad		
<i>F</i>	*8.014	*12.605
<i>p</i>	<0.001	0.041
Velocidad del viento		
<i>F</i>	0.242	*6.336
<i>p</i>	0.982	0.002

2.3.2. Variaciones espaciales y estacionales en la abundancia de peces

Un total de 8370 especímenes fueron capturados a lo largo de todo el periodo de estudio; donde las seis especie en este estudio ocurrieron en todas las estaciones de muestreo, excepto que *C. atherinoides* que no fue capturado en la estación 4 (Tabla 3; Fig. 7).

Durante los muestreos realizados, 3 de las especies (*C. atherinoides*, *M. curema* y *E. argenteus*) no se capturaron en algunos meses. Mientras tanto las otras 3 especies restantes (*L. rhomboides*, *S. testudineus* y *E. gula*) ocurrieron siempre en todos los meses de muestreo. La mayoría de las especies fueron más abundantes durante la temporada de secas, pero *M. curema* y *E. gula* fueron más abundantes en los arrastres en la temporada de lluvias (Fig. 7).

Tabla 3. Total de individuos (N), densidad relativa (%D 400m²) y biomasa relativa (%B 400m²) encontrada durante el periodo de estudio (abril 2009 – mayo 2010) para las seis especies estudiadas en La Carbonera, Yucatán. La frecuencia de ocurrencia (%) de las especies son mostradas por estaciones de muestreo (variación espacial) y por temporadas climáticas (variación temporal), ambos análisis con datos independientes.

Especie	Familia	N	%D	%B	Frecuencia de ocurrencia (%)											
					Estaciones de muestreo									Temporada		
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	Seca	Lluvia	Norte
<i>E. argenteus</i>	Gerreidae	3079	36.68	7.39	14.08	1.36	0.90	5.26	8.75	5.23	27.52	8.50	28.29	86.45	11.33	2.22
<i>E. gula</i>	Gerreidae	3094	36.97	7.66	33.65	4.57	1.16	0.79	5.82	2.02	19.36	28.19	4.43	15.04	77.22	7.74
<i>C. atherinoides</i>	Hemiramphidae	699	8.35	10.88	7.75	4.29	6.92	-	0.28	1.11	76.90	2.21	0.55	42.90	22.71	34.38
<i>M. curema</i>	Mugilidae	252	3.01	3.15	39.30	28.40	5.45	0.78	0.78	9.34	11.67	1.17	3.11	45.23	47.72	7.05
<i>L. rhomboides</i>	Sparidae	569	6.80	8.80	47.68	4.33	1.86	0.62	6.19	3.10	22.91	9.29	4.02	64.11	29.16	6.73
<i>S. testudineus</i>	Tetraodontidae	686	8.20	63.13	9.50	12.87	13.45	12.28	6.43	15.79	9.50	16.37	3.80	63.67	13.27	23.06

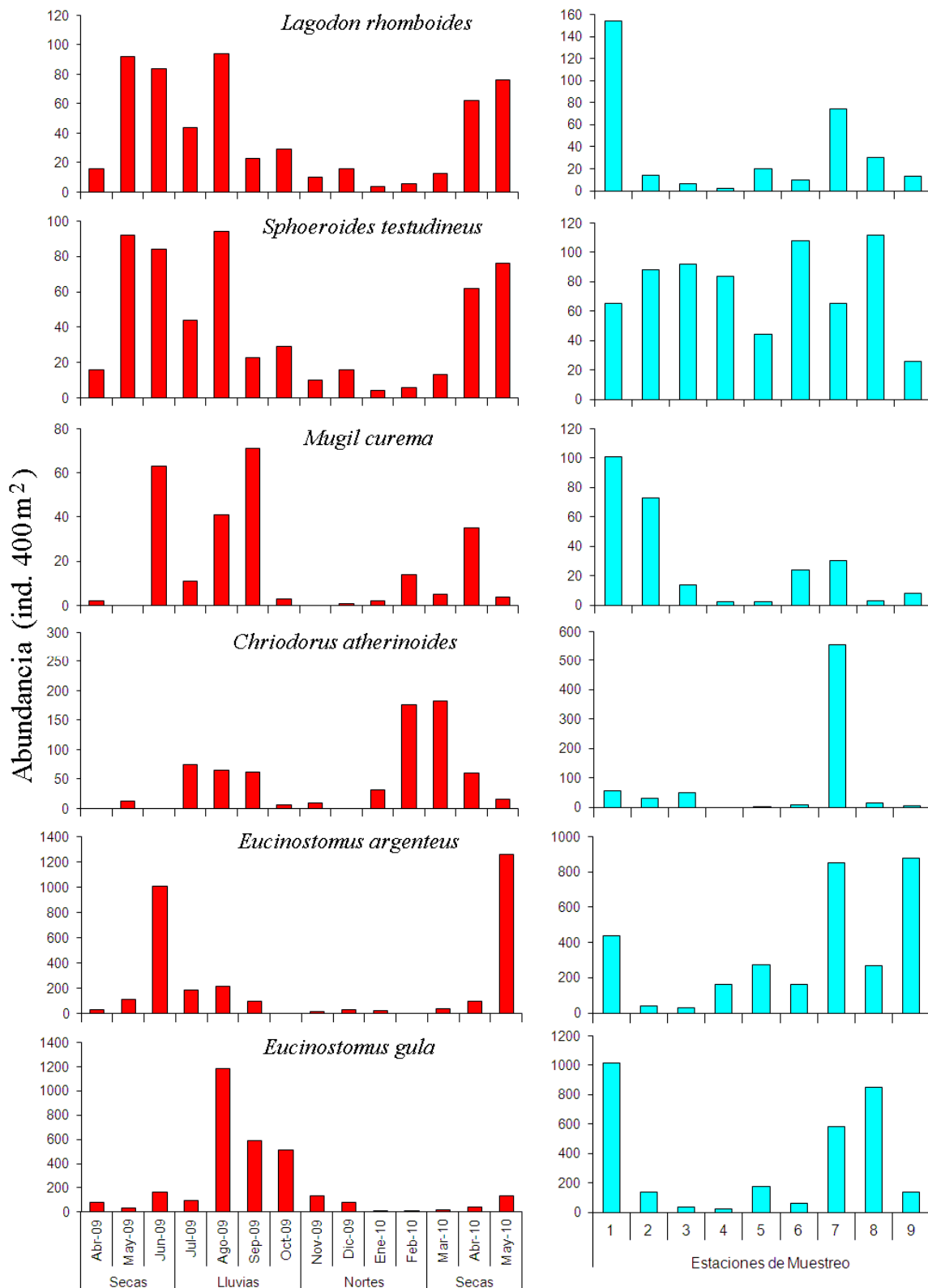


Fig. 7. Variación temporal (izquierda) y espacial (derecha) de la abundancia para las 6 especies estudiadas en la laguna La Carbonera, Yucatán.

El análisis de agrupamiento mostró cuatro grupos de distribución espacial (estaciones de muestreo) entre las especies con un nivel de disimilitud entre los grupos (disimilitud de Bray-Curtis) del 11 al 20% (Fig. 8).

El primer grupo, que incluía la estación 4, fue distinto de otros grupos, mostrando un 25% disimilitud. Solamente *S. testudineus* ocurrió en este primer grupo (estación 4), pero de igual manera ocurrió en el tercer grupo (estaciones 6, 2 y 3) y el cuarto grupo (estaciones 8, 5 y 9). Por otro lado *L. rhomboides* y *C. atherinoides* ocurrieron en el segundo grupo (estación 1 y 7). *Mugil curema* se presentó en el segundo y tercer grupo. *Eucinostomus gula* se presentó en el segundo y cuarto grupo. Mientras tanto *E. argenteus* solamente ocurrió el cuarto grupo de la distribución espacial (Fig. 9).

Los datos de abundancia de las diferentes especies de peces analizadas ocurrieron con más frecuencia en estaciones de la laguna que también presentaron una profundidad mayor y con salinidades con condiciones marinas. Estas estaciones fueron la 1, 7, y 8. Este patrón de distribución espacial de especies fue reflejado gráficamente en un plot ordenación de dos dimensional MDS con un *stress* determinado en 0.05. Este nivel de *stress* reflejó una buena representación del diagrama (Fig. 9).

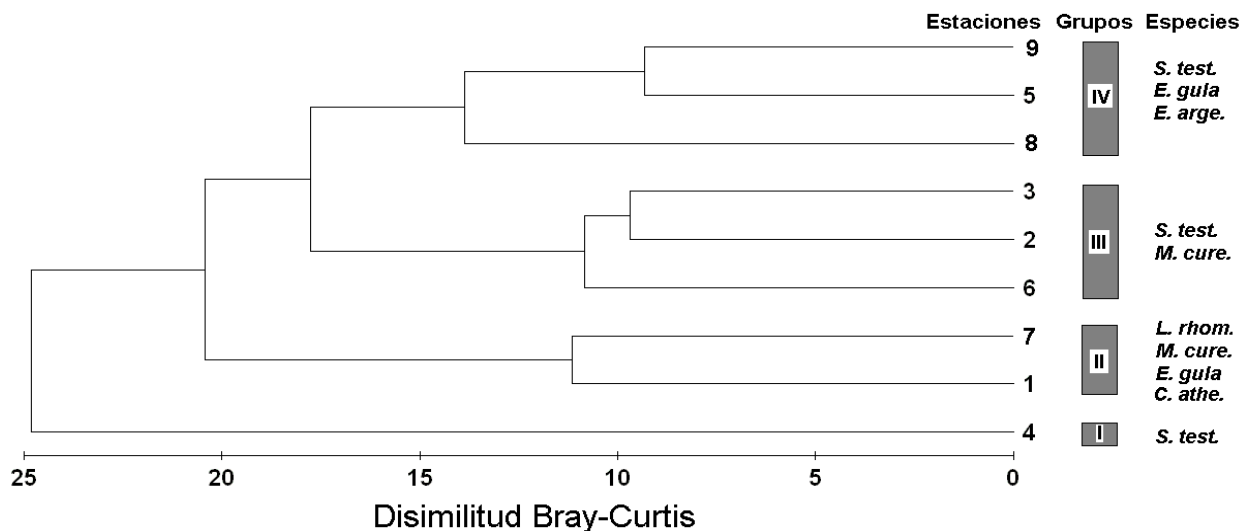


Fig. 8. Análisis Clúster de la distribución de los grupos espaciales basado en un matriz de disimilitud Bray-Curtis de la abundancia de las 6 especies analizadas en la laguna La Carbonera, Yucatán.

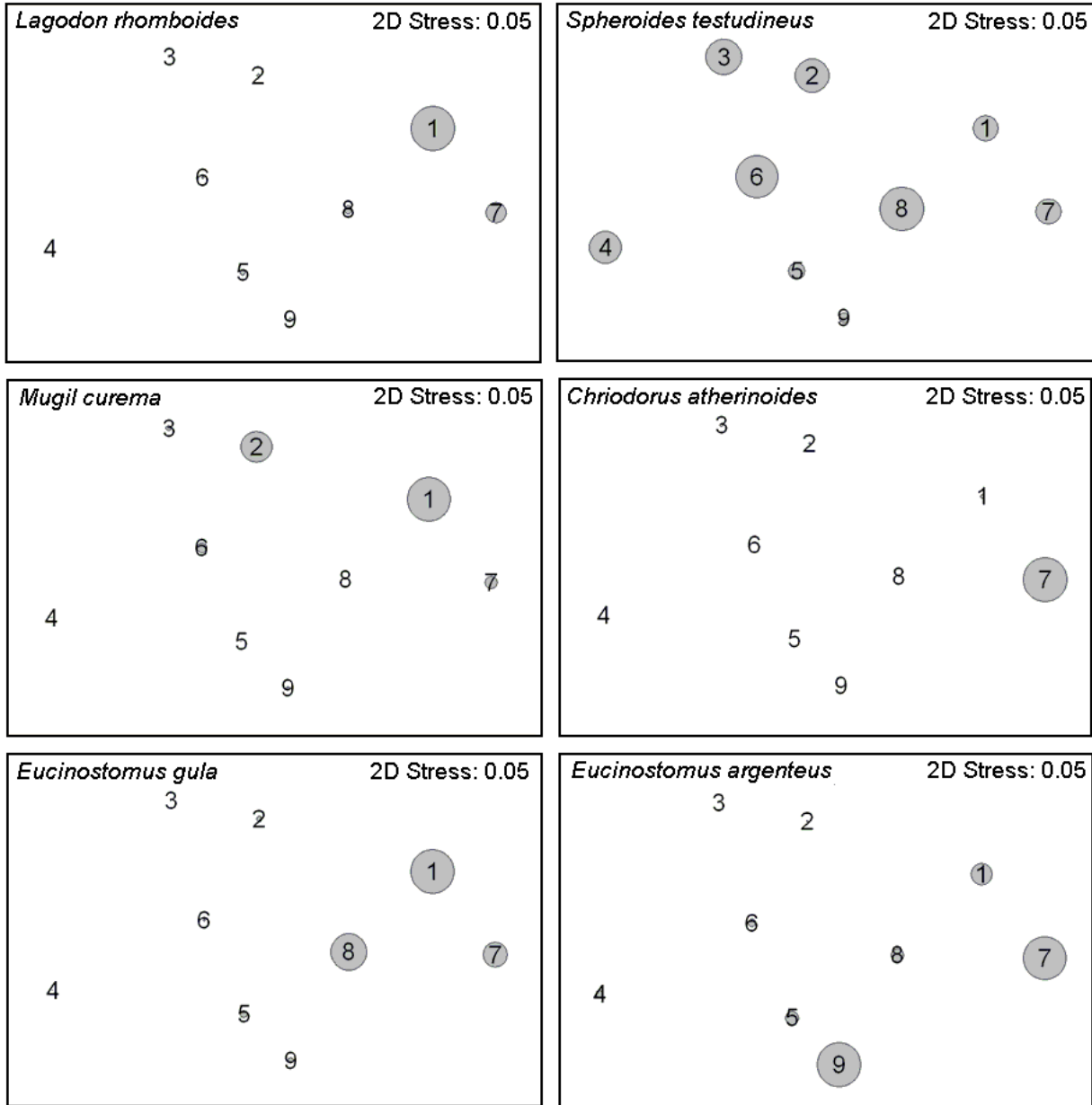


Fig. 9. Plot de ordenación del escalamiento multidimensional (MDS) de dos dimensiones mostrando la variación espacial de la abundancia de las 6 especies en la laguna La Carbonera. El valor del Stress (2D) es dado en la esquina superior derecha. Números representan las estaciones de muestreo.

2.3.4. Efecto ambiental sobre la distribución espacio-temporal de los peces

El RDA reflejó un primer eje de ordenación canónico que explicó el 23.4% de la varianza de los datos de especies y el 45% de la relación especies-ambiente (Tabla 4). Este eje tiene una muy alta correlación especies-ambiente. La exanimación conjunta de

los coeficientes canónicos y las correlaciones entre los conjuntos ayudaron a identificar el primer eje que reflejando un gradiente de salinidad y profundidad (Tabla 4). El segundo eje canónico explicó una menor variación (15.2% de los datos de las especies y el 29.3% de la relación especies-ambiente), pero también se observó una alta correlación de la interacción especies-ambiente. En este segundo eje se pudo identificar claramente un gradiente negativo presentado en las variables ambientales de oxígeno disuelto y temperatura (Tabla 4; Fig. 10). A través de un triplot, una representación gráfica completa de la ordenación del RDA, se examinó el número de muestras, las especies y las variables ambientales, reflejando primeramente la variación ocurrida en la salinidad y la profundidad en el primer eje ordenación canónica una alta correlación entre ellos (Fig. 10).

Tabla 4. Sumario del análisis de redundancia (RDA).

Sumario de los ejes de ordenación	1	2	3	4
Eigenvalues (valores propios)	0.234	0.152	0.089	0.033
Correlaciones Especies-Ambiente	0.789	0.800	0.653	0.616
Porcentaje de la varianza acumulativa				
De la data de especies	23.4	38.6	47.5	50.8
De la relación especies-ambiente	45.0	74.3	91.3	97.6
<i>Coeficientes canónico para las variables estandarizadas y las correlaciones entre los conjuntos de las variables ambientales con los ejes de especies</i>	<i>Coeficiente Canónico</i>		<i>Entre los conjunto</i>	
	<i>Eje 1</i>	<i>Eje 2</i>	<i>Eje 1</i>	<i>Eje 2</i>
Profundidad	0.437	0.434	0.345	0.347
Oxígeno	-0.319	-0.845	-0.252	-0.676
Temperatura	-0.068	-0.718	-0.054	-0.574
Salinidad	0.458	-0.401	0.361	-0.321
pH	-0.274	-0.193	-0.216	-0.154
SDT	0.186	-0.265	0.147	-0.212
Velocidad del viento	-0.056	0.653	-0.044	0.522
Temporadas de Secas	0.720	-0.216	0.569	-0.173
Temporadas de Lluvias	-0.191	-0.447	-0.151	-0.358
Temporadas de Nortes	-0.529	0.663	-0.418	0.530

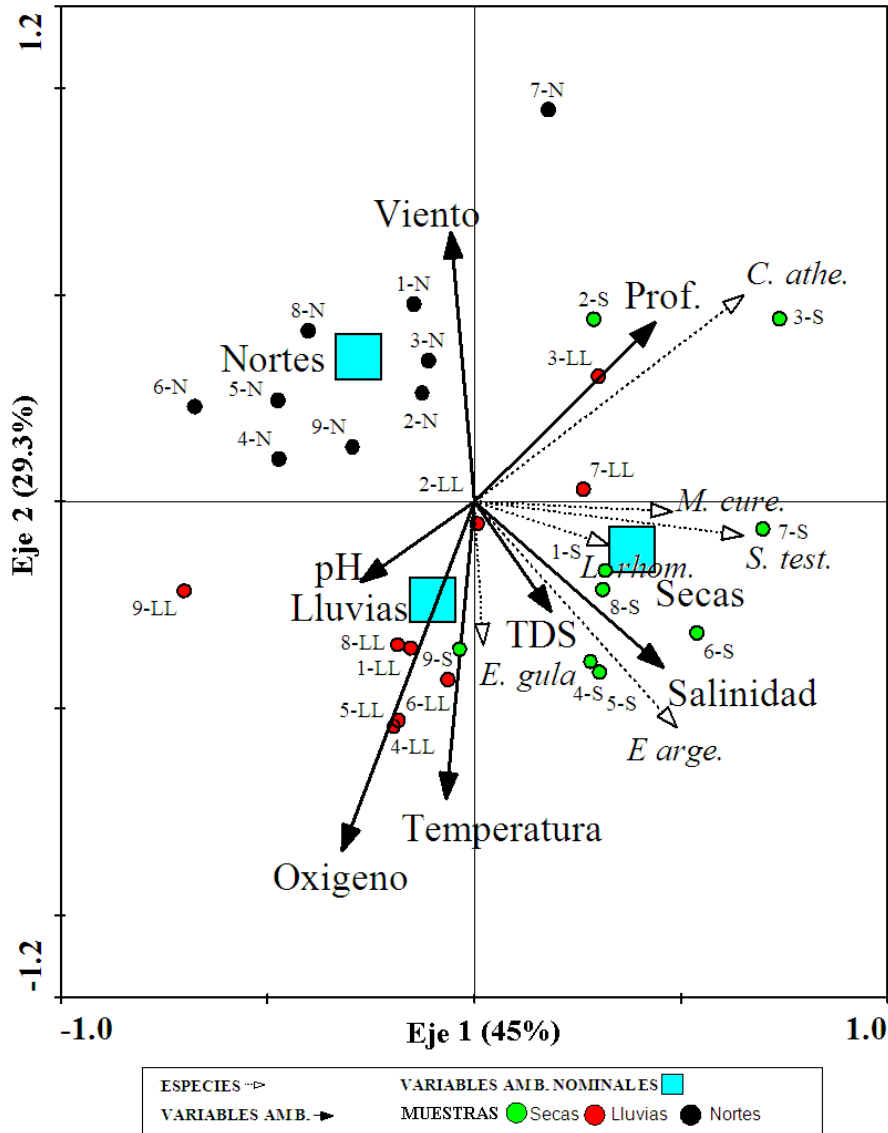


Fig. 10. Triplot del análisis de redundancia de las muestras, especies y variables ambientales registradas en la laguna La Carbonera. Flechas negras identifica las variables cuantitativas. Las especies están representadas por flechas punteadas, flechas pequeñas y sus etiquetas están formadas por la primera letra del nombre del género y las cuatro letras del nombre de la especie. Los cuadros internos indican los centroides de cada temporada climática. Círculos identifican las muestras en la estaciones (números) y temporadas (S = Secas; LL = Lluvias; N = Nortes).

El pH y los SDT también se correlacionan con el primer eje del plot de ordenación. Los vectores que representaron la velocidad del viento, la temperatura y el oxígeno disuelto formaron un ángulo agudo con el segundo el eje de ordenación; lo que refleja la alta correlación entre estas variables. Las proyecciones de los centroides de

las variables nominales (conocidos como: *dummy variables*) se usaron para representar las estaciones climáticas mostraron claramente que esta variables presentaron un valor discriminatorio muy bajo, debido a la posición de los centroides de sus clases cerca del origen de los ejes (Fig. 10). Sin embargo, durante la temporada de vientos del norte un grupo de muestras se demostró claramente. Durante la temporada de secas, las especies fueron altamente correlacionadas entre ellas mismas y de igual manera con la profundidad, la salinidad y los SDT. Mientras tanto, *E. gula* mostró una correlación altamente negativo con el segundo eje.

En los triplots de ordenación (producto de los resultados del RDA) de especies, muestras y variables ambientales realizados (Figs. 11, 12, 13) la distancia entre las estaciones de muestreo (centrado en las muestras) en los plots de ordenación no reflejaron las distancias euclidianas entre ellos, debido a la escala utilizada, básicamente centradas en las correlaciones de las especies. Las proyecciones de las especies, las variables ambientales y las estaciones de muestreo en los ejes canónicos del análisis del RDA fueron la mejor manera de entender las principales variables ambientales asociados a cada grupo de temporada climática.

Los resultados del RDA indicaron durante la época seca que el primer eje explicó el 45.3% y el segundo eje explicó el 38.1% de la relación entre las especies y las variables ambientales en el triplot de ordenación (Fig. 11). La profundidad mostró el vector de longitud mejor correlacionado en la estación seca ($r = 0.76$) con respecto al segundo eje en el triplot de ordenación presentando un índice de inflación de 1.37 (Tabla 5). Seguidamente fue observado que la salinidad obtuvo la mejor correlación con el primer eje ($r = -0.63$) y un índice de inflación de 1.67 en los datos.

La abundancia de *C. atherinoides* fue altamente correlacionado con la profundidad; *E. gula* y *E. argenteus* presentaron una alta correlación con la salinidad y la temperatura, con una mayor abundancia ocurrida en las estaciones 8 y 9 en la laguna. Sin embargo, se observó que *S. testudineus* se correlacionaron inversamente con la estación 2. Mientras tanto *M. curema* y *L. rhomboides* se correlacionaron

inversamente con el pH, y los datos mostraron mayor ocurrencia en la estación 7. La estación 3 la cual fue la que presentó mayor profundidad no presentó correlaciones durante la temporada de secas (Fig. 11).

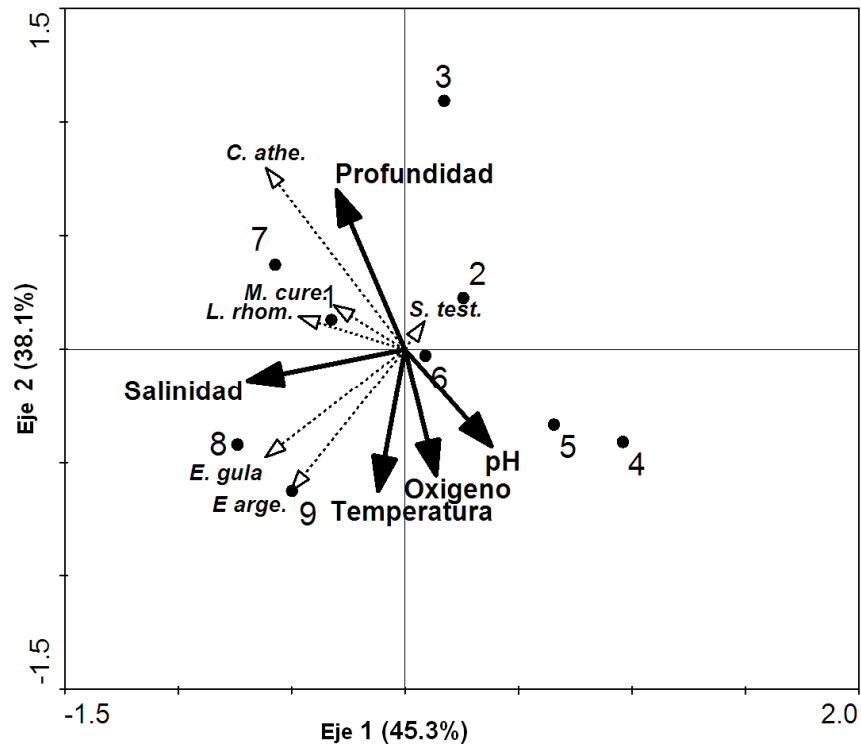


Fig. 11. Triplot del análisis de redundancia de las muestras, especies y variables ambientales registradas en la temporada de secas en la laguna La Carbonera. Flechas negras identifica las variables cuantitativas. Las Especies están representadas por flechas punteadas, flechas pequeñas y sus etiquetas están formadas por la primera letra del nombre del género y las cuatro letras del nombre de la especie.

En la temporada de lluvias, el primer eje explicó el 57.5% y el segundo eje explicó el 20.1% de la relación entre las especies y las variables ambientales en el triplot de ordenación (Fig. 12). La salinidad presentó la mejor longitud del vector correlacionado con el primer eje ($r = 0.83$) y un índice de inflación de 1.63 (Tabla 5). La temperatura mostró la siguiente mejor correlación ($r = 0.63$) con este mismo primer eje (Fig. 12). *Lagodon rhomboides*, *E. gula* y *S. testudineus* presentaron alta correlación con la profundidad y con mayor ocurrencia en la estación 2. Estas mismas especies mostraron una correlación inversa con la salinidad, la temperatura y el oxígeno disuelto. La abundancia de *M. curema* y *E. argenteus* fue correlacionado con las estaciones 2 y

4 e inversamente con los SDT y el pH. *Chriodurus atherinoides* mostró una correlación con la estación 8.

Mientras tanto durante los nortes, el primer eje explicó el 82.3% y el segundo eje explicó el 13.7% (Fig. 13). La abundancia de peces se correlacionaron inversamente con el oxígeno disuelto mostrando la mejor correlación con el primer eje ($r = -0.80$) con factor de inflación de 2.19 (Tabla 5), seguido por la longitud del vector de profundidad con una correlación con el primer eje ($r = 0.70$). Las proyecciones de abundancia de todas las especies y las variables ambientales mostraron una correlación directa con la profundidad y la salinidad, e inversa con el oxígeno disuelto y temperatura, incluyendo sus prolongaciones en la dirección opuesta a la punta del vector. Las especies mostraron correlación con las estaciones 1 y 3, e inversamente con la estación 2, 8, y 9. Excepto *E. gula* y *E. argenteus* no mostraron correlación con las variables ambientales, pero mostraron una correlación alta con el segundo eje (Fig. 13).

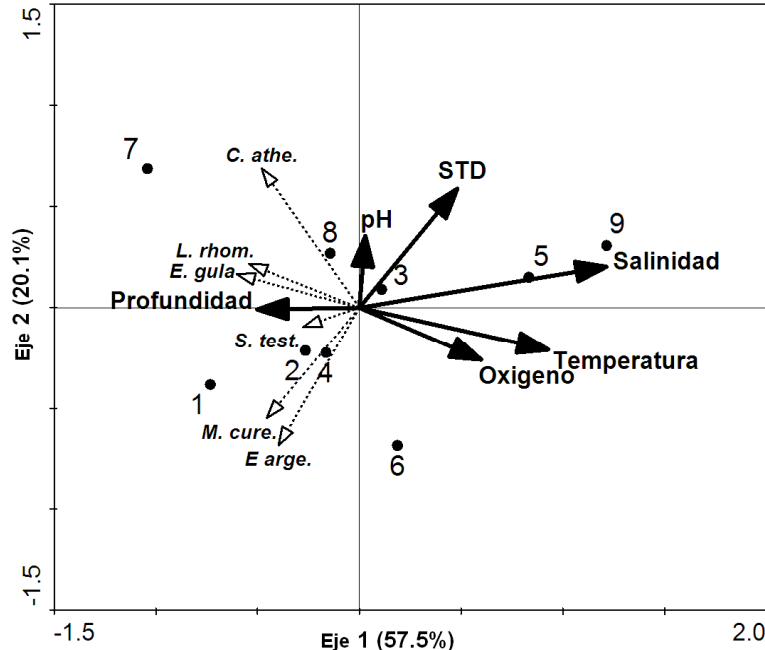


Fig. 12. Triplot del análisis de redundancia de las muestras, especies y variables ambientales registradas en la temporada de lluvias en la laguna La Carbonera. Flechas negras identifica las variables. Las Especies están representadas por flechas punteadas, flechas pequeñas y sus etiquetas están formadas por la primera letra del nombre del género y las cuatro letras del nombre de la especie.

Tabla 5. Resultados para el periodo de estudio (abril 2009 – mayo 2010) del factor de inflación, coeficientes canónicos y las mejores correlaciones (r) usando análisis de redundancia (RDA). La tabla muestra las variables ambientales por temporadas climáticas que influenciaron la distribución de las 6 especies analizadas en la laguna La Carbonera, Yucatán.

Temporada	Variables	Factor de Inflación	Coeficiente Canónico - Eje 1	Coeficiente Canónico - Eje 2	Correlación (r) Especie - Eje 1	Correlación (r) Especie - Eje 2
Secas	Profundidad	1.37	-0.341	0.867	-0.27	0.76
	Oxígeno	9.97	0.155	-0.689	0.13	-0.60
	Temperatura	6.75	-0.134	-0.775	-0.11	-0.68
	Salinidad	1.67	-0.786	-0.173	-0.63	-0.15
	pH	3.67	0.433	-0.531	0.35	-0.47
	SDT*	-	-	-	-	-
	Viento*	-	-	-	-	-
Lluvias	Profundidad	2.35	-0.376	-0.011	-0.34	-0.01
	Oxígeno	2.99	0.449	-0.329	0.41	-0.33
	Temperatura	3.72	0.696	-0.266	0.63	-0.26
	Salinidad	1.63	0.911	0.258	0.83	0.26
	pH	1.60	0.022	0.449	0.02	0.45
	SDT	1.94	0.362	0.747	0.33	0.74
	Viento*	-	-	-	-	-
Nortes	Profundidad	1.64	0.711	-0.265	0.70	-0.22
	Oxígeno	2.19	-0.821	0.339	-0.80	0.28
	Temperatura	1.50	-0.433	-0.748	-0.42	0.61
	Salinidad	2.18	0.390	-0.643	0.38	-0.53
	pH*	-	-	-	-	-
	SDT*	-	-	-	-	-
	Viento*	-	-	-	-	-

*Variables no incluidas en el análisis debido a una colinearidad entre las demás variables.

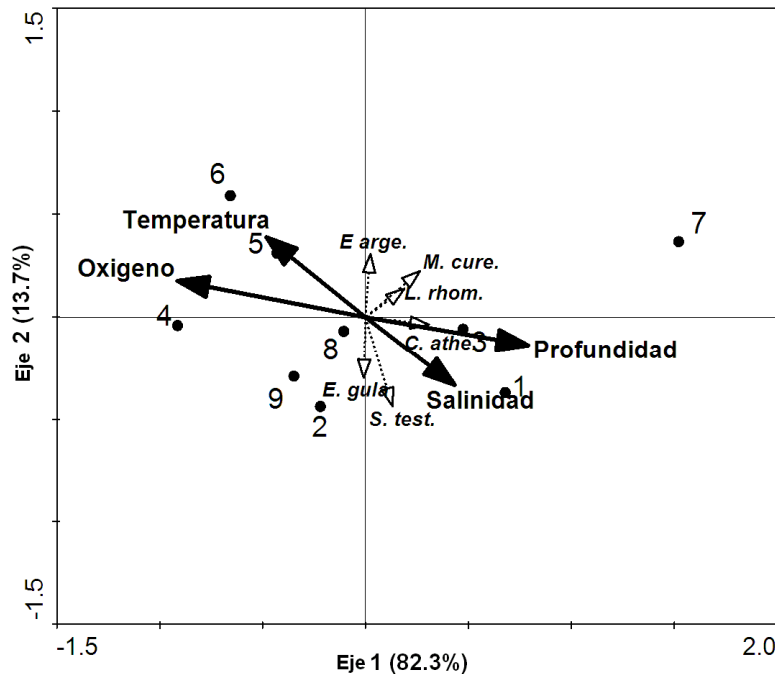


Fig. 13. Triplot del análisis de redundancia de las muestras, especies y variables ambientales registradas en la temporada de nortes en la laguna La Carbonera. Flechas negras identifica las variables. Las Especies están representadas por flechas punteadas, flechas pequeñas y sus etiquetas están formadas por la primera letra del nombre del género y las cuatro letras del nombre de la especie.

2.4. DISCUSIÓN

2.4.1. Diferencias espaciales y temporales de las variables ambientales

En el sistema lagunar de La Carbonera, salinidad y temperatura elevadas se encontraron en la estación seca. Una excepción correspondió a octubre de 2009, que fue un mes atípico ya que las altas temperaturas y bajas precipitaciones condujo al aumento de la salinidad durante la temporada de lluvias en lugar de la dilución habitual que se observa normalmente. Jerónimo *et al.* (2012) también reportó este pico de salinidad (~50) en octubre de 2009, en oposición con la menor salinidad (~15) encontrada en diciembre de 2009, al final de la temporada de lluvias. Tanto la salinidad y la temperatura disminuyeron gradualmente hasta que los valores más bajos se registraron en la temporada de los vientos nortes, siguiendo el patrón general que se encontrado también por Peralta-Meixueiro y Vega-Cendejas (2011) en otro sistema lagunar hiper-salino en la costa noreste de la península de Yucatán. La presencia de vientos del norte, usualmente fríos y rápidos, son importantes en la distribución

espacial de las características ambientales de este sistema costero somero. Esto es especialmente cierto cuando consideramos los valores de oxígeno disuelto, las cuales aumentan debido a la turbulencia y la mezcla vertical de la columna de agua (ver Fig. 5). La precipitación afecta la salinidad debido a la dilución y las bajas temperaturas acompañadas con baja radiación son responsables de la caída de los valores de temperatura del agua (Jerónimo *et al.*, 2012).

En general, las estaciones al interior de la laguna presentaron mayor temperatura, pH y oxígeno disuelto que disminuyeron gradualmente hacia la boca de la laguna. Sin embargo, el comportamiento de la salinidad y los SDT fueron opuestos. Una compleja variabilidad ambiental se creó en una escala de corto tiempo, que regularon la abundancia y distribución de las especies de peces analizadas en laguna La Carbonera. El oxígeno disuelto sólo mostró diferencias entre las estaciones de muestreo, asociados con diferencias en la profundidad: su variación ha sido influenciado por el estrés del viento y los efectos de las mareas. Las concentraciones de oxígeno disuelto son generalmente altas en las lagunas como resultado de la producción primaria y el constante flujo y la mezcla de agua dulce y salada, aunque naturalmente los altos niveles de materia orgánica puede reducir las concentraciones de oxígeno durante el período de baja entrada de agua (Moyle y Cech, 2000).

2.4.2. Relación entre la distribución de las especies y la variación ambiental

El MDS mostró que las especies de peces tienen diferentes preferencias espaciales en todas las mediciones estacionales, donde los más frecuentes estaciones ocurridas (1 y 7) fueron más profundos y con una alta salinidad en la laguna (ver Fig. 2 y 3). Los sitios profundos han sido reconocidos como los hábitats preferidos de algunas especies de peces (Lawror, 1980). En estas estaciones de muestreo, los patrones de distribución de especies de peces se traslaparon y coinciden con la abundancia máxima observada.

No se presentaron diferencias estadísticamente significativas en la distribución espacial de las variables ambientales en todo el sistema. Sin embargo, Jerónimo *et al.* (2012) encontraron tres zonas con una variabilidad diferente, dos zonas interiores de laguna La Carbonera (que corresponden a la estación 5 y 8 en el presente trabajo) con una alta variabilidad en la temperatura (entre $< 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $< 31\text{ }^{\circ}\text{C}$) y salinidad (entre < 38 y < 40) y otra zona con más baja temperatura ($< 27\text{ }^{\circ}\text{C}$) y salinidad (< 4) junto a la filtración de agua dulce "cenote" de la laguna (ver Fig. 2).

Hay que tener en cuenta que el área de estudio es una zona de transición entre el mar y una serie de filtraciones de agua dulce pequeños, donde las poblaciones de organismos marinos, estuarinos y peces de agua dulce se encuentran. Aunque es bien conocido que ríos subterráneos existentes en la península de Yucatán, su contribución a este ecosistema no ha sido aun cuantificada.

Por otro lado, Koenig (1999) señaló que las fluctuaciones de las variables ambientales están relacionadas con la distancia entre un sitio de muestreo y otro a lo largo de los sistemas de lagunas costeras. Aunque no fueron estadísticamente encontrados los patrones espaciales en este estudio, se debe tener en cuenta que tales variables producen que se desplacen los peces para optimizar el suministro de los recursos en la laguna. Cocheret de la Morinière *et al.* (2003) sugieren que la distribución de las especies de peces pueden ser provocados por gradientes espaciales y estacionales de los cambios ambientales; y también por los cambios fisiológicos o morfológicos en peces juveniles que aumenta la susceptibilidad a los gradientes ambientales. Barletta *et al.* (2005) encontraron que el número, densidad y biomasa de las especies de peces en un estuario tropical exhiben cambios espaciales y estacionales debido a las fluctuaciones en la salinidad; y que esta variable influyó también la migración de peces en la misma escala espacial. Una fuerte relación ha sido reportado entre la distribución de la salinidad y la distribución del ictioplancton en un sistema lagunar costero en la costa este de la península de Yucatán (Chiappa-Carrara *et al.*, 2003).

Las diferencias estacionales en la temperatura y la salinidad influyen en los patrones de distribución de las comunidades de peces en los sistemas costeros (Harrison y Whitfield, 2006; Selleslagh y Amara, 2008). A pesar de la variabilidad ambiental que caracteriza a La Carbonera, este sistema lagunar proporciona un hábitat favorable y es área de crianza para juveniles de peces debido a su poca profundidad, sustrato arenoso y la presencia de manglares. En particular, las especies eurihalinas, tales como *S. testudineus*, fueron encontrados a lo largo de la laguna, independientemente de la profundidad, y fueron importante contribución a la biomasa total de peces en todos los meses.

Como era de esperarse, las variables ambientales variaron significativamente a lo largo del año, influenciando tanto la abundancia (ver Tabla 3) y la distribución temporal (ver la Tabla 5). Durante la temporada de nortes, por ejemplo, el conjunto de datos relativos a los datos de abundancia de las especies de peces están claramente separados de las otras temporadas (ver Fig. 10). Un traslape de los vectores durante la estación de secas, sugiere una fuerte correlación entre las variables hidrológicas, especialmente la salinidad y la profundidad de algunos sitios (Fig. 10 y 11). Pacheco *et al.* (2010) informaron de que la temperatura y la profundidad son importantes en la influencia de la distribución espacial de la abundancia de *E. argenteus*. La salinidad puede ser una de las influencias más importantes en el uso de los sistemas costeros por diferentes organismos (Marshall y Elliot, 1998). Vega-Cendejas y Hernández de Santillana (2004) mencionan que en una laguna costera hipersalina de la costa de Yucatán, una salinidad muy alta (> 80) disminuye el número de especies de peces.

Los datos mostraron la existencia de una dependencia de la profundidad del agua y la abundancia de *L. rhomboides*, que puede ser el resultado de la división de la profundidad tanto en ciénagas y hábitats de tipo plano durante la marea alta (Meyer y Posey, 2009). El mismo patrón, pero teniendo en cuenta la salinidad fue descrito en un sistema estuarino tropical en el golfo de México, centrándose en la abundancia de *L. rhomboides* y *M. curema* y otras especies de peces (Castillo-Rivera *et al.*, 2002).

Según Ruetz *et al.* (2005) la dinámica de la población de peces en áreas que experimentan frecuentes períodos de sequía son más propensos a ser dominados por los cambios hidrológicos. Las especies como *M. curema*, *S. testudineus* y *L. rhomboides* que se alimentan principalmente de detritus (Pauly, 1991; Franco y Bashirullah, 1992; Arceo-Carranza *et al.*, 2010, respectivamente) fueron más abundantes durante la temporadas de secas, que puede ser el resultado del aumento de la materia orgánica a través de la laguna (Elliott y de Jonge, 2002).

El uso de variables ambientales como indicadores de preferencias las especies de peces residentes se basan primeramente sobre el principio de que las especies de peces efectivamente integran y reflejan posibles condiciones saludables en el sistema lagunar La Carbonera, según la propuesta de Whitfield y Harrison (2008) considerando otros sistemas estuarinos. Es importante considerar que las interacciones biológicas, tales como las relaciones depredador-presa, la disponibilidad de alimentos y a menudo la biología reproductiva de la especie influyen en la composición de peces en una laguna costera (Arceo-Carranza y Vega-Cendejas, 2009). Aunque no se mide aquí, estas variables pueden determinar movimientos de los peces para optimizar su rendimiento y pueden ser responsables de las variaciones en la distribución de los peces en La Carbonera.

2.4.3. Análisis multidimensionales: implicaciones sobre los datos de los peces

Las cambiantes condiciones ambientales de las lagunas costeras con poca profundidad son difíciles de relacionar con la distribución espacial y temporal de los peces. En este estudio, la combinación de análisis de agrupación y ordenación era el medio más eficaz para comprobar la idoneidad y coherencia de la distribución de especies de peces (Clarke y Warwick, 2001). Aunque los índices de similitud han sido comúnmente utilizados para evaluar las diferencias o similitudes en comunidades de peces, estas medidas son coeficientes principalmente descriptivos, en lugar de los estimadores de los parámetros estadísticos (Krebs, 1998; Castillo-Rivera *et al.*, 2002). Una ordenación restringida produjo muchos ejes canónicos, ya que hay variables

explicativas, pero cada uno de estos ejes son combinaciones lineales (un modelo de regresión múltiple) de todas las variables explicativas. La exanimación de los coeficientes canónicos (es decir, los coeficientes de regresión de los modelos) de las variables explicativas sobre cada eje permitió la identificación del conjunto de variables que son importantes para explicar el primer y segundo eje.

En este estudio, las variables explicativas no siempre fueron dimensionalmente homogéneas; estas ordenaciones canónicas fueron obtenidas con las variables explicativas estandarizadas. En el RDA, esto no afectó a la elección entre la ejecución del análisis en una covarianza o una matriz de correlación, ya que esta última opción se refiere a la respuesta de las variables ambientales (Leps y Šmilauer, 2003). Por lo tanto, RDA se aplicó a la matriz de datos de la abundancia de especies de peces con el fin de evaluar los cambios entre sitios (estaciones de muestreo), variables ambientales, climáticas y las estaciones (seca y lluviosa, y vientos del norte).

El agrupamiento mostró que las seis especies seguían patrones espaciales de ocurrencia asociada a la profundidad del agua, con la excepción de *C. atherinoides* que no se observó en la estación 4, presentó un traslape, especialmente entre las estaciones 1 y 7 (ver Fig. 9). Arceo-Carranza y Vega-Cendejas (2009) han informado de que la principal diferencia entre las comunidades de peces en un largo sistema cárstico costero (Laguna de Celestún, al noroeste de la península de Yucatán) fue la composición de las especies en el espacio y el tiempo. Esto debido al comportamiento y la biología de cada especie en un determinado tiempo y lugar. Las variables analizadas juegan un papel importante en la regulación de los patrones anuales de abundancia de las especies de peces en La Carbonera. Las variables ambientales no mostraron un gradiente espacial como en otros sistemas costeros de Yucatán (Rueda, 2001; Arceo Carranza y Vega-Cendejas, 2009), sino más bien un claro patrón estacional influenciado por las condiciones climáticas.

2.5. CONCLUSIÓN

Los resultados permitieron determinar que los cambios hidrológicos son un factor importante en el modelado de los patrones estacionales de las poblaciones de peces locales en La Carbonera. Además, los resultados no fueron significativamente diferentes cuando se analiza el mismo conjunto de datos de la abundancia y variables abióticas con diferentes técnicas de análisis multidimensional, sino que se ha demostrado que la combinación de esas técnicas mejora la interpretación de la distribución de los peces como lo sugiere González-Sansón *et al.* (2009). Por lo tanto, los patrones de distribución y preferencias de hábitat de las poblaciones de peces abundantes se pueden atribuir a una sinergia entre las variables abióticas. Como tal, la investigación de la función de esas interacciones para futuras investigaciones es necesaria para contribuir a la conservación de la biodiversidad de peces en una zona muy valiosa.



CAPITULO III - Tesis Doctoral

**PESO-LONGITUD, CRECIMIENTO Y MORTALIDAD
NATURAL:**

ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL TEMPORAL

CAPÍTULO 3

RELACIONES PESO-LONGITUD, CRECIMIENTO Y MORTALIDAD NATURAL ESTIMADA EN LAS POBLACIONES ESTUDIADAS EN LA LAGUNA LA CARBONERA, YUCATÁN

Resumen

Este capítulo reporta las relaciones de peso-longitud, crecimiento y mortalidad natural durante un ciclo anual de *Lagodon rhomboides*, *Sphoeroides testudineus*, *Mugil curema*, *Chriodorus atherinoides*, *Eucinostomus argenteus* y *Eucinostomus gula* que habitan en la laguna La Carbonera, Yucatán, México. Se obtuvieron los parámetros de la relación peso-longitud ($P = aL^b$). Se estimó el crecimiento a través de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy y se obtuvieron los parámetros del modelo mediante un análisis de frecuencias de longitudes. Adicionalmente se estimó la mortalidad natural. El exponente b indicó un patrón de crecimiento isométrico ($b = 3$; t-test, $p > 0.05$) todo el año en las especies, a excepción que *M. curema* presentó un patrón alométrico. Los parámetros de crecimiento von Bertalanffy fueron: *L. rhomboides* ($L_{\infty} = 21.0$ cm, $k = 1.1$ año⁻¹ y $t_0 = -0.158$ año); *S. testudineus* ($L_{\infty} = 29.50$ cm, $k = 0.77$ año⁻¹ y $t_0 = -0.168$ años); *M. curema* ($L_{\infty} = 21.00$ cm, $k = 1.30$ año⁻¹ y $t_0 = -0.058$ año); *C. atherinoides* ($L_{\infty} = 27.30$ cm, $k = 0.76$ año⁻¹ y $t_0 = -0.178$ año); *E. argenteus* ($L_{\infty} = 12.60$ cm, $k = 0.68$ año⁻¹ y $t_0 = -0.283$ años); *E. gula* ($L_{\infty} = 13.65$ cm, $k = 0.54$ año⁻¹ y $t_0 = -0.370$ año). Las mortalidad natural fueron: *L. rhomboides* = 2.11 año⁻¹; *S. testudineus* = 1.53 año⁻¹; *M. curema* = 2.37 año⁻¹; *C. atherinoides* = 1.55 año⁻¹; *E. argenteus* = 1.79 año⁻¹; y *E. gula* = 1.50 año⁻¹. En este estudio se proveen las primeras estimaciones mortalidad natural para en la península de Yucatán, lo que es relevante para la adecuada implementación de medidas de conservación de las especies.

3.1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento es el aumento en talla y en peso; así también de las estructuras de un organismo, la cual conlleva a un aumento de su tamaño total. Los estudios ecológicos en peces, particularmente aquellos dirigidos al crecimiento, son útiles para determinar el papel funcional de este grupo en un ecosistema (Martínez-Porcha *et al.*, 2009). El crecimiento de peces juveniles es considerado uno de los más importantes factores que contribuyen al reclutamiento sucesivo de poblaciones adultas dentro un hábitat (Beck *et al.*, 2001).

Los parámetros de la relación de talla y peso parámetros (*a* y *b*) son las variables necesarias para comprender la dinámica de una población de peces y son útiles en la ciencia pesquera en muchos aspectos (Pritchler y Hart, 1982; Shervette *et al.*, 2007).

El objetivo de este capítulo es presentar las relaciones peso-longitud, estimar los parámetros de crecimiento y la mortalidad natural de las especies estudiadas de la laguna La Carbonera, península de Yucatán.

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. Relación peso-longitud

A las especies se le determinaron las variables morfométricas: longitud total (*Lt*, ± 0.1 cm); la cual es medido desde la punta de la mandíbula superior a la punta de la aleta caudal, y el peso húmedo del organismo completo (*P*, ± 0.01 g). Se estableció una relación entre el peso y la longitud total para estimar el crecimiento a través de la ecuación potencial por especie durante todo el muestreo según Sparre y Venema (1995):

$$P = aLt^b \quad (1),$$

donde *P* representa el crecimiento en peso total en gramos, *Lt* es la longitud total del organismo en cm y las constantes *a* y *b* son parámetros del modelo. Para determinar

los parámetros a y b de la ecuación (1) se utilizó un análisis de regresión de los mínimos cuadrados y fue resuelto a través del complemento *Solver* en el paquete de análisis de Excel. El parámetro b estimado fue evaluada con un t -test ($H_0: b = 3.0$; con $\alpha = 0.05$) utilizando el software STATISTICA 7.0 (StatSoft Inc., 2004) para evaluar la isometría en la relación talla-peso.

3.2.1. Crecimiento von Bertalanffy

Se determinaron los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy (ECVB) a través del programa ELEFAN-I incluido en el paquete de análisis pesquero FAO-ICLARM Fish Stock Assessment Tools (FiSAT II) (Gayanilo *et al.*, 1997), usando las distribuciones de frecuencias de longitudes con intervalos de clases de 2 cm de longitud total. La ECVB es expresada de la siguiente forma:

$$Lt = L_{\infty} (1 - \exp^{-k(t-t_0)}) \quad (2),$$

donde Lt es la longitud a la edad t , L_{∞} es la longitud asintótica (longitud máxima a la cual el pez es capaz de llegar a medir en condiciones ambientales), k es la constante de crecimiento (año^{-1}) y t_0 es la edad hipotética a la cual la longitud de la especie es cero. Para determinar t_0 , se utiliza la formula empírica de Pauly (1979), la cual es definida como:

$$\log_{10}(-t_0) = -3.922 - 0.2752 \log_{10} L_{\infty} - 1.038 \log_{10} k \quad (3).$$

Para comparar diferentes estimaciones de crecimiento para esta especie se utilizó el índice de crecimiento (ϕ') propuesto por Munro y Pauly (1983) expresada como:

$$\phi' = \log_{10} k + 2 \log_{10} L_{\infty} \quad (4).$$

3.2.1. Mortalidad

Se determina para cada especie la tasa instantánea de mortalidad total (Z) a través de la curva de captura basada en tallas (Pauly, 1983), la cual al no existir

explotación en la zona de estudio es equivalente a la tasa instantánea de mortalidad natural (M). Adicionalmente se realiza una estimación independiente de M utilizando la ecuación empírica de mortalidad natural propuesta por Pauly (1980):

$$\log_{10} M = -0.0066 - 0.2791 \log_{10} L_{\infty} + 0.6543 \log_{10} k + 0.4634 \log_{10} T^{\circ}C \quad (5).$$

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Relación peso-longitud

Durante el período de estudio las especies presentaron en diferentes porcentajes entre las 3 temporadas climáticas a excepción de *S. testudineus* que ocurrieron cerca del 30% en todas las temporadas (Tabla 6).

Los parámetros a y b fueron estimados mediante relación peso y longitud total para las seis especies, y su relación peso-longitud se observa en la figura 14. La regresión lineal, mediante una transformación logarítmica a los datos (Fig. 15); mostró para todas las especies índices de determinación (r^2) alrededor de 0.97.

El exponente b combinado no fue estadísticamente diferente del valor isométrico entre temporadas climáticas para *L. rhomboides* (t -test = - 0.1279; $p > 0.05$); *S. testudineus* (t -test = - 0.5825; $p > 0.05$), *C. atherinoides* (t -test = - 0.1932; $p > 0.05$); *E. argenteus* (t -test = - 0.2145; $p > 0.05$) y *E. gula* (t -test = - 0.2316; $p > 0.05$). Sin embargo se encontraron diferencias, presentando alometría en *M. curema* (t -test = 2.0477; $p < 0.05$); Con respecto al parámetro a , estos si presentaron una diferencia significativa en la variación estacional ($p < 0.05$); siendo significativamente mayor en la temporada de secas para *S. testudineus*, *C. atherinoides*, *E. argenteus*; mientras que fue mayor en la temporada de lluvias para *M. curema* y *E. gula* y siendo únicamente mayor en temporada de los vientos nortes para *L. rhomboides* (Tabla 6).

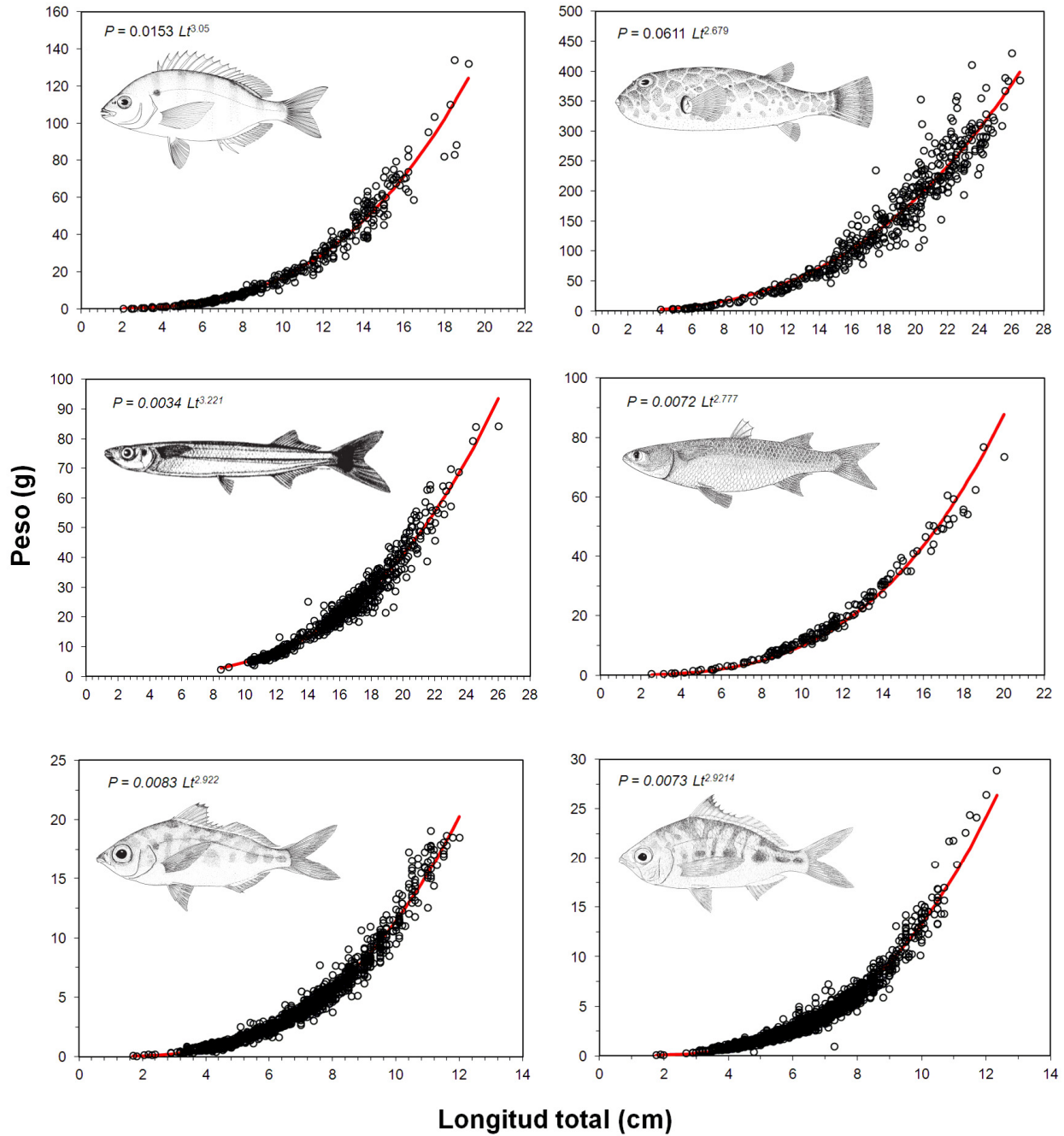


Fig. 14. Relación peso-longitud total de las seis especies analizadas en la laguna La Carbonera, Yucatán. *Lagodon rhomboides* (superior izquierda); *Sphaeroides testudineus* (superior derecha); *Chriodorus atherinoides* (medio izquierda); *Mugil curema* (medio derecha); *Eucinostomus argenteus* (inferior izquierda); *Eucinostomus gula* (inferior derecha).

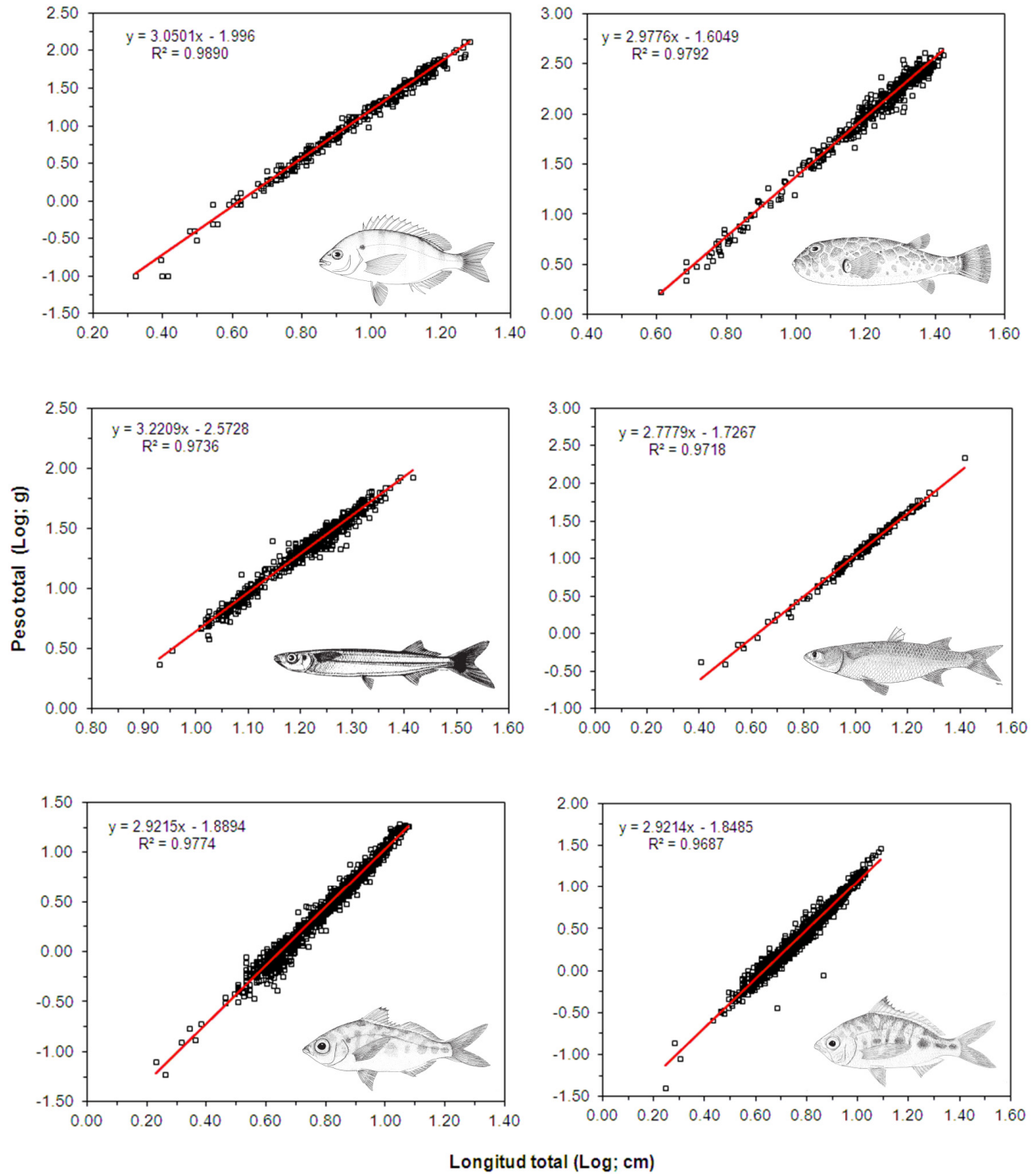


Fig. 15. Relación logaritmo-logaritmo (log-log) del peso sobre la longitud total para las seis especies analizadas en la laguna La Carbonera, Yucatán. *Lagodon rhomboides* (superior izquierda); *Sphoeroides testudineus* (superior derecha); *Chriodorus atherinoides* (medio izquierda); *Mugil curema* (medio derecha); *Eucinostomus argenteus* (inferior izquierda); *Eucinostomus gula* (inferior derecha).

Tabla 6. Estadística descriptiva por temporada climática y total (combinadas) y parámetros estimados de la relación talla-peso de las especies analizadas en La Carbonera, Yucatán, México. Abril 2009 – Marzo 2010.

Especie	Temporada	N	Lt (cm)		Peso (g)		Parámetros de la regresión					
			Min	Max	Min	Max	a	b	SE (b)	IC 95% (a)	IC 95% (b)	r ²
<i>L. rhomboides</i>	Secas	254	2.10	20.00	0.10	132.10	1.441E-02	3.208	0.019	1.3E-02–1.9E-02	3.169-3.247	0.9906
	Lluvias	160	3.00	18.60	0.40	88.30	1.338E-02	3.227	0.027	1.1E-02–1.7E-02	3.174-3.279	0.9894
	Nortes	34	6.20	16.50	3.60	58.50	3.114E-02	3.031	0.070	3.0E-02–3.3E-02	2.887-3.172	0.9830
	Total	448	2.10	20.00	0.10	132.10	1.534E-02	3.050	0.015	1.3E-02–1.7E-02	2.024-3.239	0.9890
<i>S. testudineus</i>	Secas	156	4.09	25.60	1.70	367.60	7.902E-02	3.043	0.031	1.4E-02–1.4E-01	2.982-3.104	0.9843
	Lluvias	139	10.05	26.00	29.20	430.00	4.368E-02	2.918	0.048	9.6E-03–9.7E-02	2.824-3.012	0.9647
	Nortes	166	4.82	26.50	2.20	388.40	5.704E-02	2.947	0.033	1.4E-02–1.2E-01	2.882-3.012	0.9799
	Total	461	4.09	26.50	1.70	433.30	6.113E-02	2.978	0.020	2.6E-02–9.5E-02	2.938-3.017	0.9792
<i>M. curema</i>	Secas	60	5.90	17.50	2.67	52.57	1.813E-02	2.873	0.053	1.6E-03–1.8E-03	2.768-2.979	0.9809
	Lluvias	111	4.18	17.30	0.90	60.42	2.780E-02	2.759	0.065	2.6E-03–2.9E-03	2.629-2.889	0.9421
	Nortes	22	2.54	20.00	0.43	76.67	2.567E-02	2.772	0.052	1.1E-03–2.8E-03	2.664-2.879	0.9930
	Total	193	2.54	20.00	0.43	76.67	7.156E-03	2.777	0.034	6.7E-03–7.6E-03	2.710-2.845	0.9718
<i>C. atherinoides</i>	Secas	283	8.50	24.40	2.37	79.22	2.825E-03	3.278	0.028	2.6E-03–2.9E-03	3.222-3.333	0.9794
	Lluvias	165	10.20	26.00	4.67	84.21	4.046E-03	3.301	0.017	3.7E-03–4.3E-03	3.245-3.357	0.9881
	Nortes	219	12.20	22.50	7.81	63.88	5.174E-03	3.301	0.022	5.0E-03–5.3E-03	2.819-3.112	0.9378
	Total	667	8.50	26.00	2.37	84.21	3.457E-03	3.221	0.067	3.3E-03–3.5E-03	3.180-3.261	0.9736
<i>E. argenteus</i>	Secas	876	1.70	12.00	0.08	18.47	1.198E-02	2.839	0.014	1.1E-03–1.2E-03	2.812-2.868	0.9889
	Lluvias	637	2.06	11.80	0.12	19.08	9.345E-03	2.990	0.021	9.1E-03–9.5E-03	2.949-3.031	0.9852
	Nortes	64	3.50	11.00	0.57	15.07	9.436E-03	2.917	0.057	8.9E-03–9.8E-03	2.804-3.030	0.9885
	Total	1577	1.70	12.00	0.08	19.08	8.323E-03	2.922	0.011	8.2E-03–8.4E-03	2.899-2.944	0.9774
<i>E. gula</i>	Secas	218	2.70	12.33	0.26	28.90	4.440E-03	3.038	0.033	4.2E-03–4.6E-03	2.973-3.102	0.9875
	Lluvias	2222	1.76	10.70	0.04	19.30	9.362E-03	2.884	0.011	9.3E-03–9.4E-03	2.863-2.906	0.9842
	Nortes	260	3.20	9.00	0.43	8.35	1.152E-02	2.990	0.043	1.1E-03–1.2E-03	2.905-3.076	0.9738
	Total	2700	1.76	12.33	0.04	28.90	7.314E-03	2.921	0.010	7.2E-03–7.4E-03	2.902-2.941	0.9686

N, número de especímenes; Lt, Largo total; a, constante; b, pendiente; SE, Error estándar; IC, Intervalos de confianza; r², coeficiente de determinación.

3.3.2. Parámetros de la ECVB

Los parámetros de crecimiento de la ECVB (L_{∞} , k y t_0) además del índice del desempeño del crecimiento (ϕ') fueron determinados mediante un análisis de estimaciones de las frecuencias de longitud total; siendo estos índices superiores a 2.0 en todas las especies estudiadas (Tabla 7)

La ecuación estimada de la ECVB para *L. rhomboides* fue: $L_t = 21.0 [1 - \exp^{-1.10(t - 0.158)}]$ con un índice de desempeño del crecimiento de 2.61 (Fig. 16). Para *S. testudineus* fue: $L_t = 29.5 [1 - \exp^{-0.77(t - 0.168)}]$ con un índice de desempeño del crecimiento de 2.75 (Fig. 17). Para *M. curema* fue: $L_t = 21.0 [1 - \exp^{-1.30(t - 0.058)}]$ con un índice de desempeño del crecimiento de 2.76 (Fig. 18).

Mientras tanto para *C. atherinoides* fue: $L_t = 27.3 [1 - \exp^{-0.76(t - 0.178)}]$ con un índice de desempeño del crecimiento de 2.76 (Fig. 19). Para *E. argenteus* fue: $L_t = 12.60 [1 - \exp^{-0.68(t - 0.283)}]$ con un índice de desempeño del crecimiento de 2.03 (Fig. 20). Para *E. gula* fue: $L_t = 13.65 [1 - \exp^{-0.54(t - 0.370)}]$ con un índice de desempeño del crecimiento de 2.00 (Fig. 21).

Tabla 7. Resumen de los parámetros de la ECVB estimados a través de ELEFAN-I para las especies analizadas en la laguna La Carbonera, Yucatán, México. Abril 2009 – Marzo 2010.

Especie	N	L_{∞} (cm)	k (cm año ⁻¹)	t_0 (año)	ϕ'
<i>L. rhomboides</i>	448	21.00	1.10	-0.158	2.61
<i>S. testudineus</i>	461	29.50	0.77	-0.168	2.75
<i>M. curema</i>	193	21.00	1.30	-0.058	2.76
<i>C. atherinoides</i>	667	27.30	0.76	-0.178	2.75
<i>E. argenteus</i>	1577	12.60	0.68	-0.283	2.03
<i>E. gula</i>	2700	13.65	0.54	-0.370	2.00

L_{∞} , longitud asintótica; k , constante de crecimiento; t_0 , edad hipotética a la cual la longitud es zero.

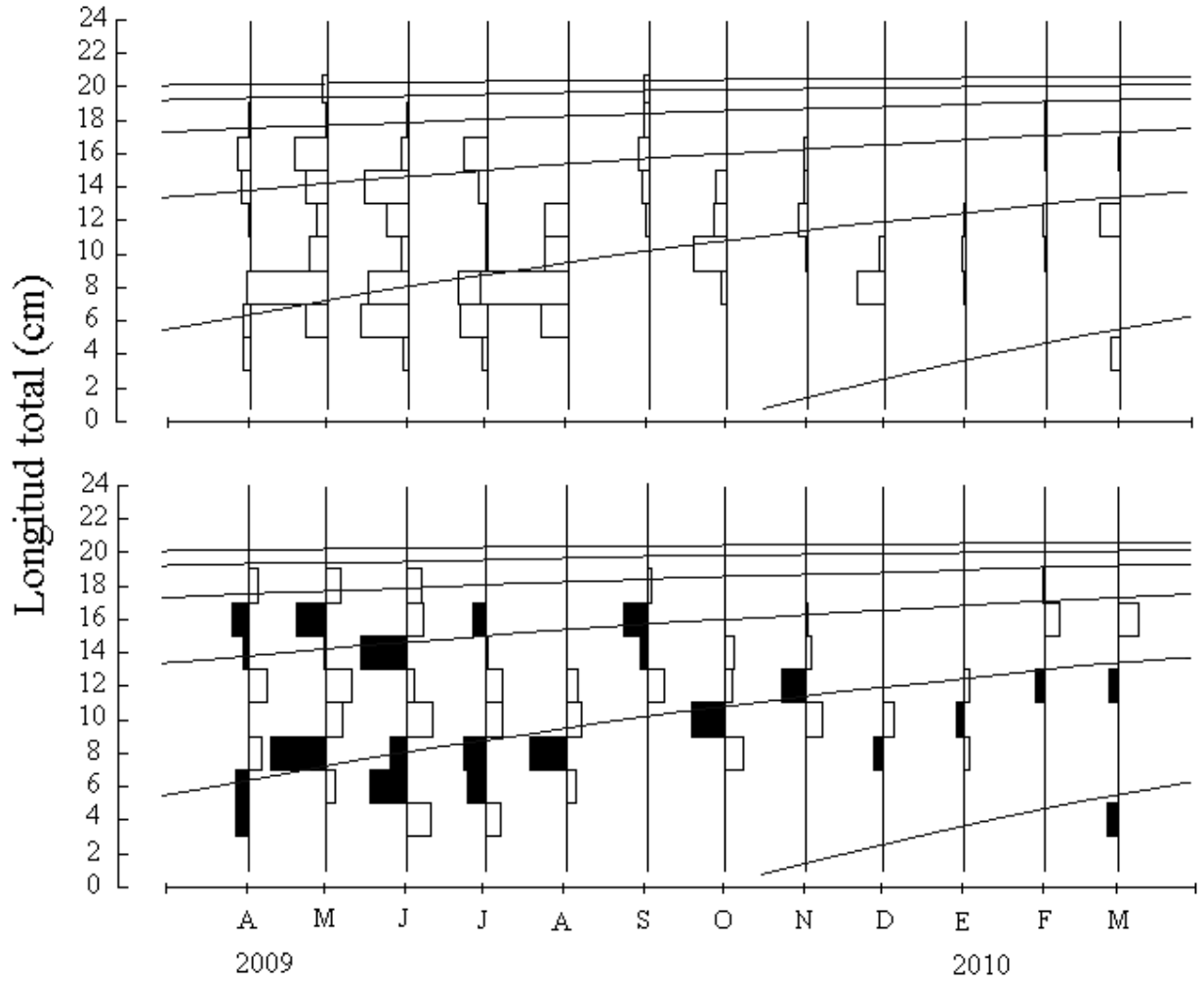


Fig. 16. Variación temporal de la curva de crecimiento basado en datos de frecuencia de longitudes (arriba) y datos de frecuencia de longitudes reestructuradas (abajo) computados en ELEFAN-I de *L. rhomboides* en la laguna La Carbonera, Yucatán.

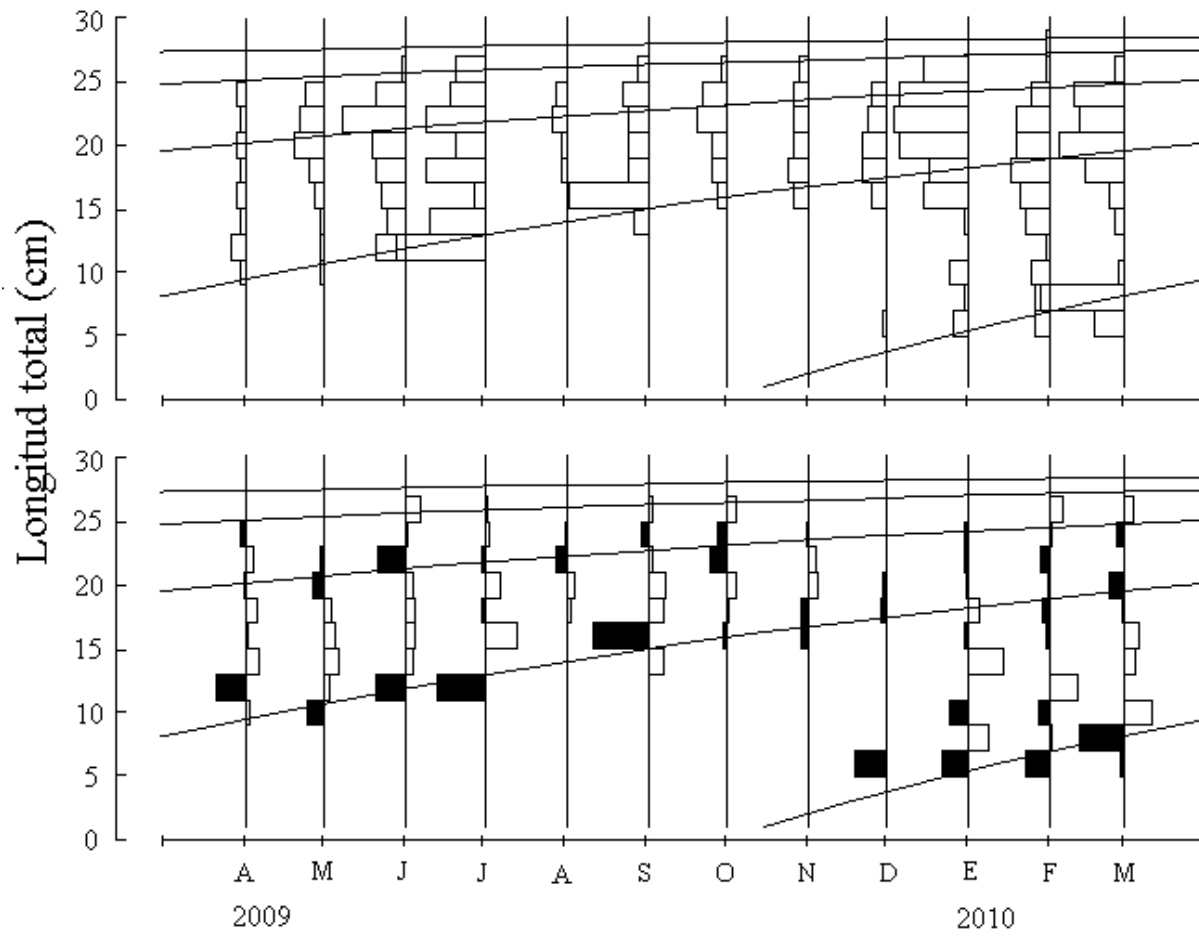


Fig. 17. Variación temporal de la curva de crecimiento basado en datos de frecuencia de longitudes (arriba) y datos de frecuencia de longitudes reestructuradas (abajo) computados en ELEFAN-I de *S. testudineus* en la laguna La Carbonera, Yucatán.

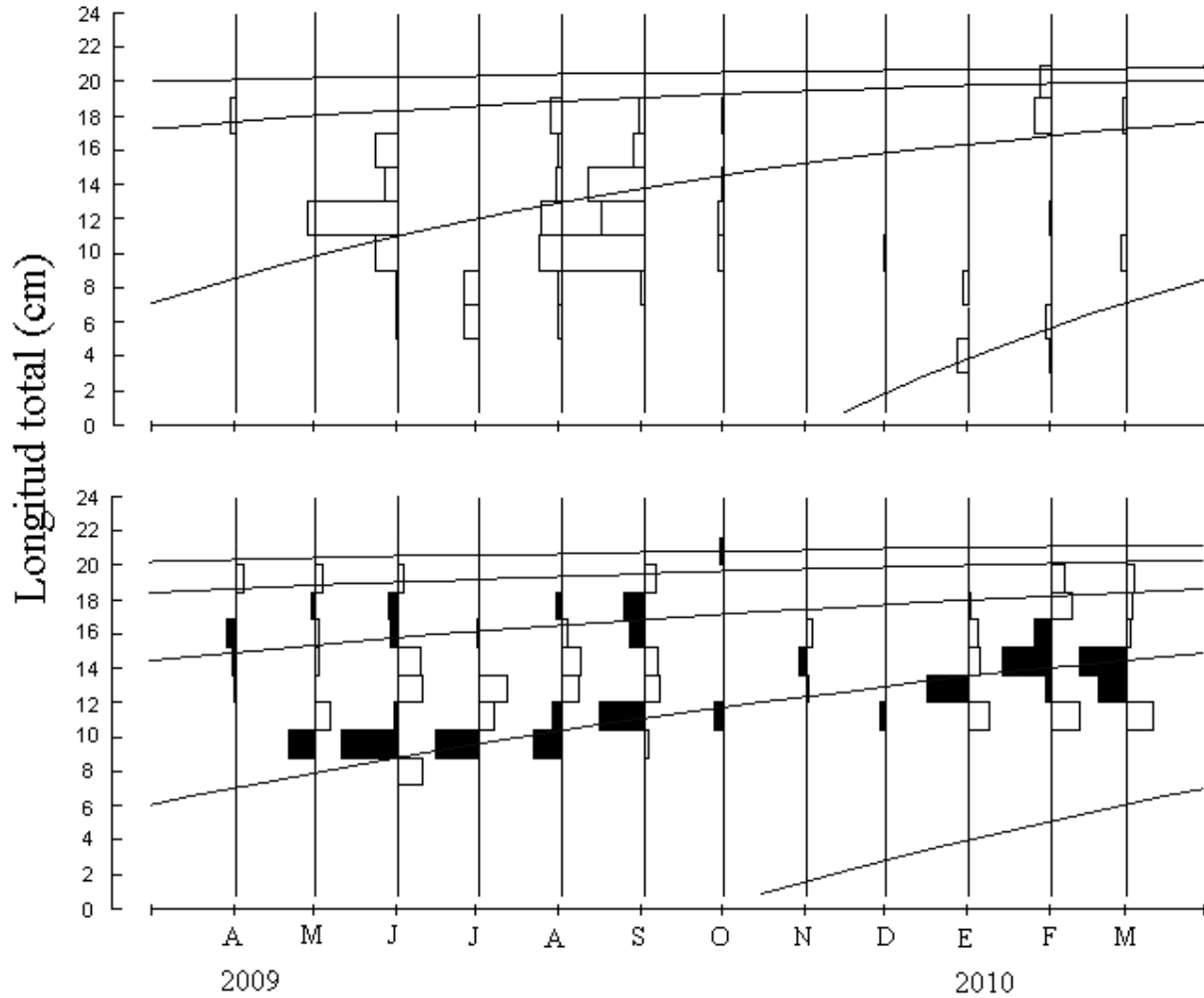


Fig. 18. Variación temporal de la curva de crecimiento basado en datos de frecuencia de longitudes (arriba) y datos de frecuencia de longitudes reestructuradas (abajo) computados en ELEFAN-I de *M. curema* en la laguna La Carbonera, Yucatán.

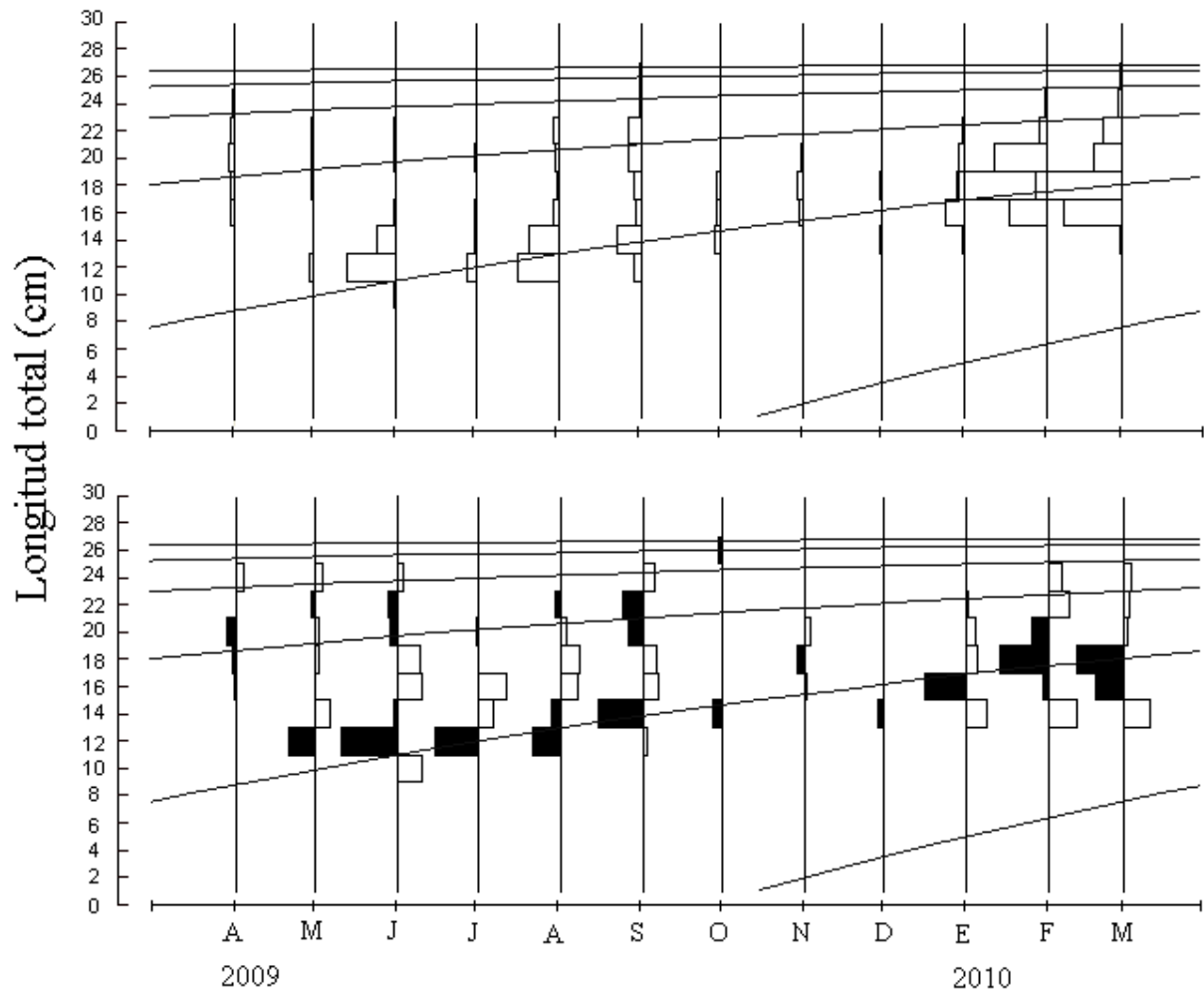


Fig. 19. Variación temporal de la curva de crecimiento basado en datos de frecuencia de longitudes (arriba) y datos de frecuencia de longitudes reestructuradas (abajo) computados en ELEFAN-I de *C. atherinoides* en la laguna La Carbonera, Yucatán.

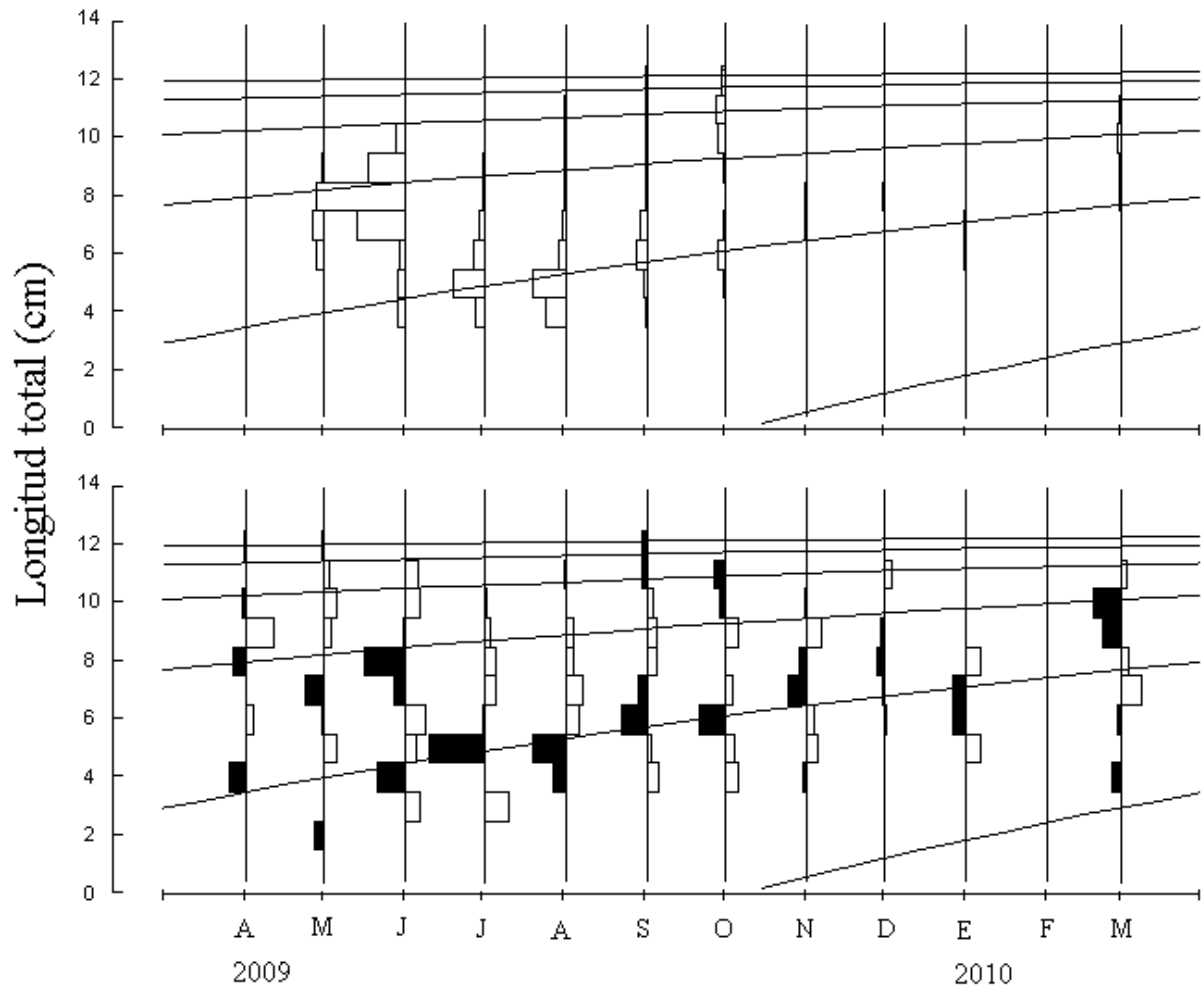


Fig. 20. Variación temporal de la curva de crecimiento basado en datos de frecuencia de longitudes (arriba) y datos de frecuencia de longitudes reestructuradas (abajo) computados en ELEFAN-I de *E. gula* en la laguna La Carbonera, Yucatán.

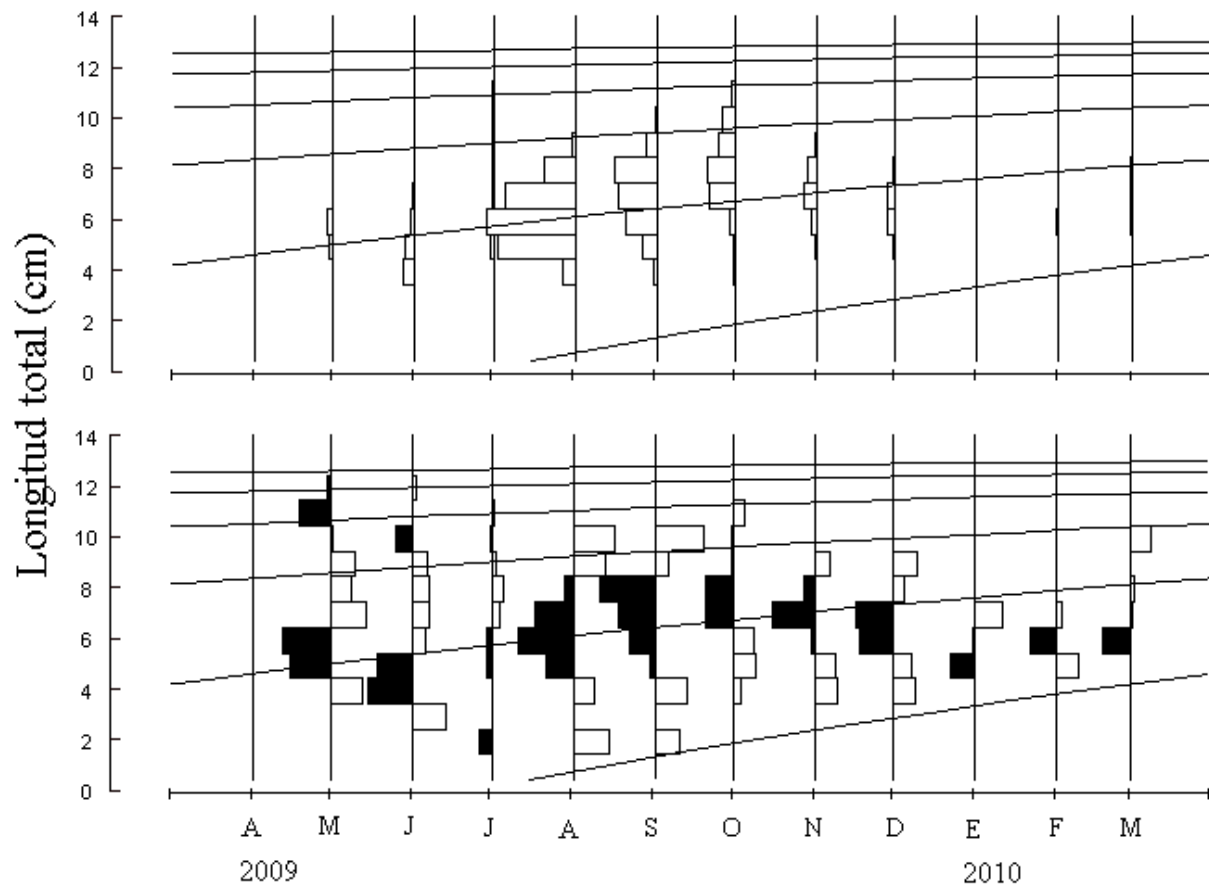


Fig. 21. Variación temporal de la curva de crecimiento basado en datos de frecuencia de longitudes (arriba) y datos de frecuencia de longitudes reestructuradas (abajo) computados en ELEFAN-I de *E. gula* en la laguna La Carbonera, Yucatán.

3.3.3. Mortalidad

Lagodon rhomboides: La tasa instantánea de mortalidad total (Z) estimada por la curva de captura convertida a longitud fue 2.61/año (1.36 - 3.86; 95% intervalo de confianza). La tasa instantánea de mortalidad natural (M) fue 2.11año⁻¹ en relación a la temperatura promedio del periodo de muestreo (28.6°C).

Sphoeroides testudineus: La tasa instantánea de mortalidad total (Z) estimada por la curva de captura convertida a longitud fue 1.67/año (0.22 - 3.12; 95% intervalo de confianza). La tasa instantánea de mortalidad natural de la formula empírica de Pauly (M) fue 1.53 año⁻¹ en relación a la temperatura promedio del periodo de muestreo (28.6°C).

Mugil curema: La tasa instantánea de mortalidad total (Z) estimada por la curva de captura convertida a longitud fue 4.57/año (2.07 – 7.07; 95% intervalo de confianza). La tasa instantánea de mortalidad natural de la formula empírica de Pauly (M) fue 2.37 año⁻¹ en relación a la temperatura promedio del periodo de muestreo (28.6°C).

Chriodorus atherinoides: La tasa instantánea de mortalidad total (Z) estimada por la curva de captura convertida a longitud fue 1.51/año (1.14 - 1.87; 95% intervalo de confianza). La tasa instantánea de mortalidad natural (M) fue 1.55 año⁻¹ en relación a la temperatura promedio del periodo de muestreo (28.6°C).

Eucinostomus argenteus: La tasa instantánea de mortalidad total (Z) estimada por la curva de captura convertida a longitud fue 1.75/año (0.07 - 3.43; 95% intervalo de confianza). La tasa instantánea de mortalidad natural (M) fue 1.79 año⁻¹ en relación a la temperatura promedio del periodo de muestreo (28.6°C).

Eucinostomus gula: La tasa instantánea de mortalidad total (Z) estimada por la curva de captura convertida a longitud fue 2.20/año (1.50 - 2.90; 95% intervalo de confianza). La tasa instantánea de mortalidad natural (M) fue 1.50 año⁻¹ en relación a la temperatura promedio del periodo de muestreo (28.6°C).

3.4. DISCUSIÓN

La relación peso-longitud responden principalmente a las variaciones espaciales y temporales debido a la temperatura y la salinidad de la disponibilidad de agua o comida y a actividades reproductivas (Wootton, 1990). Sin embargo, las relaciones talla-peso no mostraron diferencias en b entre temporadas climáticas en el presente trabajo. Resultados similares fueron obtenidos por Nelson (2002) para *L. rhomboides* en la bahía de Tampa, Florida, Estados Unidos; y por Mallard-Colmenero *et al.* (1982) para *S. testudineus* en la laguna de Términos, Campeche, golfo de México. Pero en cambio, otros peces globo más grandes, *Sphoeroides spengleri*, han sido reportado en Yucatán, con valores alométricos ($b < 3$) (Vega-Cendejas *et al.*, 2011), debido al cambio de su forma del cuerpo y llegar a ser más alargada o más pequeña que las muestras se encontraban en mejor estado nutricional en el momento de muestreo (Froese, 2006).

En el noreste del golfo de México, los parámetros de la ECVB obtenidos por Nelson (2002) para *L. rhomboides* fueron: $L_{\infty} = 21.9$ cm, $k = 0.33$ año⁻¹ y $t_0 = -0.10$ años. Sólo k muestra diferencias significativas latitudinalmente en comparación a este trabajo. Nelson (2002) reporta que esta especie puede llegar a una edad de 7 años (25.5 cm), pero que la mayoría de los organismo no llegaron a esta edad, mientras que en nuestro análisis se determinó posteriormente una edad estimada de 3 años a 20.0 cm. Estos resultados apoyan el criterio que juveniles de *L. rhomboides* podrían alcanzar un rápido crecimiento logrando a llegar a la edad de un año prontamente si consideramos que llegan a tener un crecimiento de 0.10 - 0.25 cm/mes (Nelson, 1998), llegando a ser reproductivo a una edad de dos años cuando alcanzan una talla entre 0.8 y 10 cm (Hansen, 1970; Johnson, 1978), aún cuando el 50% de madurez gonadal no haya alcanzado los 13.2 cm necesarios como reporta Hansen (1970). El valor de 2.61 del índice de crecimiento para las tallas encontradas, indica el hecho de que esta especie posee un crecimiento considerablemente rápido.

De acuerdo con estos resultados, las estimaciones de crecimiento de *S. testudineus* a lo largo de la costa noroeste de la península de Yucatán ($\phi' = 2.75$) son

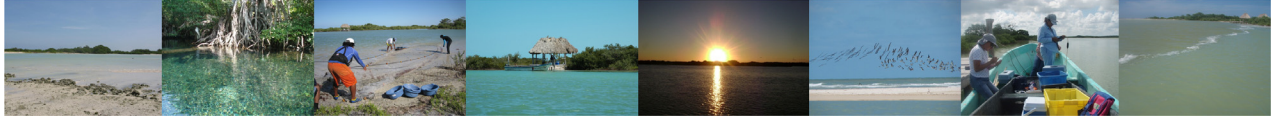
más altas que los encontrados por Pauly (1991) en la población de la Bahía de Biscayne, Florida. Esto podrían estar relacionadas con la incertidumbre asociada con la tasa de crecimiento (k) las estimaciones del análisis de frecuencia de tallas, o por variaciones en las tasas de crecimiento de las poblaciones que habitan en diferentes latitudes, con determinadas condiciones ambientales y ecológicas.

El hecho de no encontrar una diferencia significativa alrededor del valor 3 en el exponente b de la ecuación peso-longitud, muestran que las especie tiene un crecimiento volumétrico proporcional o isométrico. Este crecimiento isométrico ha sido atribuido al alimento disponible, poca densidad y la productividad que presenta el área de estudio, dicha productividad es mayor durante la estación de lluvias (Herrera, 1988).

Este trabajo es el primer reporte con valores estimados de la mortalidad para estas especies estudiadas en la península de Yucatán y en la mayoría son primeros reportes para la región, contribuyendo a la información necesaria para la base de datos pública del FishBase. Nelson (2002), reporta una mortalidad total instantánea encontrada para *L. rhomboides* entre 0.88 y 1.08 (siendo estos valores mayores al presente trabajo). Mientras que la mortalidad natural de 0.78 reportada por el mismo autor está por debajo a los del presente trabajo. Esto podría ser atribuido, aunque no fue determinado, a las tasas de mortalidad natural en peces de diferentes áreas dependan de la densidad de depredadores y competidores, cuya abundancia está influenciada de igual manera por las actividades de pesca (Sparre *et al.*, 1994). Sin embargo, Bravo *et al.* (2009) mencionan que lo anterior puede atribuirse a diferencias latitudinales; ya que las variaciones de estos parámetros podrían ser debidas a diferencias de crecimiento por habitar en distintas latitudes que presentan características ambientales propias de las regiones tales como: la temperatura y el fotoperiodo; las cuales pueden variar estacionalmente correlacionadas con cambios en la abundancia, los regímenes de explotación a los que están sometidos y por la metodología utilizada que marcan diferencias entre las zonas de estudio.

3.5. CONCLUSIÓN

El exponente b indicó un patrón de crecimiento isométrico ($b = 3$; t-test, $p > 0.05$) todo el año en las especies, a excepción que *M. curema* presentó un patrón alométrico. Los parámetros de crecimiento von Bertalanffy fueron: *L. rhomboides* ($L_{\infty} = 21.0$ cm, $k = 1.1$ año⁻¹ y $t_0 = -0.158$ año); *S. testudineus* ($L_{\infty} = 29.50$ cm, $k = 0.77$ año⁻¹ y $t_0 = -0.168$ años); *M. curema* ($L_{\infty} = 21.00$ cm, $k = 1.30$ año⁻¹ y $t_0 = -0.058$ año); *C. atherinoides* ($L_{\infty} = 27.30$ cm, $k = 0.76$ año⁻¹ y $t_0 = -0.178$ año); *E. argenteus* ($L_{\infty} = 12.60$ cm, $k = 0.68$ año⁻¹ y $t_0 = -0.283$ años); *E. gula* ($L_{\infty} = 13.65$ cm, $k = 0.54$ año⁻¹ y $t_0 = -0.370$ año). Las mortalidad natural fueron: *L. rhomboides* = 2.11 año⁻¹; *S. testudineus* = 1.53 año⁻¹; *M. curema* = 2.37 año⁻¹; *C. atherinoides* = 1.55 año⁻¹; *E. argenteus* = 1.79 año⁻¹; y *E. gula* = 1.50 año⁻¹. En este estudio se proveen las primeras estimaciones mortalidad natural para en la península de Yucatán, lo que es relevante para la adecuada implementación de medidas de conservación de las especies.



CAPITULO IV - Tesis Doctoral

**ECOLOGÍA TRÓFICA:
ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN TEMPORAL Y ONTOGÉNICA**

CAPÍTULO 4

ECOLOGÍA TRÓFICA: VARIACIÓN TEMPORAL Y ONTOGÉNICA EN LAS DIETAS DE ESPECIES ESTUDIADAS EN LA LAGUNA LA CARBONERA.

Resumen

Patrones de alimentaciones temporales y ontogénicos de las poblaciones de peces fueron analizados en la laguna La Carbonera, entre abril 2009 y mayo 2010. Las poblaciones analizadas eran de *Lagodon rhomboides*, *Sphoeroides testudineus* y *Chriodorus atherinoides*. Los componentes del espectro trófico fueron analizados por medio del porcentaje de la abundancia relativa y la frecuencia de ocurrencia y se determinó el porcentaje de importancia relativa de los diferentes ítems en las diferentes clases de tamaño. Se detectó una variación temporal en la composición de la dieta de las especies estudiadas incluso en las mismas clases de tamaño, un posible factor puede ser atribuido a un cambio en la disponibilidad de presas a lo largo de las temporadas, debido a las variaciones estacionales acentuadas en las condiciones ambientales y la productividad del hábitat cárstico estudiado.

4.1. INTRODUCCIÓN

Los peces son un componente importante de las redes tróficas acuáticas debido a que ocupan virtualmente todos los nichos tróficos posibles (a excepción del primer eslabón), por lo que actúan como conductores de materia y energía a través del ecosistema (Blaber, 1997). Además, se ha reconocido su papel como estructuradores de la comunidad puesto que el papel que juegan como depredadores puede afectar la dinámica de las poblaciones de sus presas. Así mismo, al constituirse en presas, limitan la dinámica de sus depredadores (Winemiller y Jepsen, 1998). Los estudios ecológicos en peces, particularmente aquellos dirigidos al conocimiento de la ecología trófica (tipos de presas consumidas, amplitud de la dieta e importancia nutricional de cada componente) son útiles para determinar el papel funcional de este grupo en un ecosistema (Cruz-Escalona *et al.*, 2000).

Las características morfológicas particulares pueden ser indicadores de la ecología trófica de una especie, porque determinan ¿cómo un pez puede alimentarse? y ¿qué es lo que puede comer? Además, las clasificaciones de los grupos funcionales de las presas (productor primario, consumidor primario o secundario y detritívoro) son útiles para realizar predicciones referentes a la biología trófica de un predador (dieta y métodos de captura); más sin embargo, no es fácil categorizar los grupos funcionales de las presas antes mencionados sin estudios previos de las interacciones con el predador de interés (Arceo-Carranza, 2010). Aunque la morfología puede ser usada para predecir las limitaciones o capacidades funcionales de un organismo (su nicho potencial), esto no siempre es un buen pronóstico del nicho trófico (Nemeth, 1997).

Los cambios tróficos en un sistema costero como producto de introducciones deliberadas o accidentales de organismos (van der Zanden, 2005), el estado trófico de las especies (Margalef, 1983; Carpenter *et al.*, 1995), la extensión y variación de hábitat (Sass *et al.*, 2006), entre otros factores han sido considerados como indicadores de afectación y como herramientas para evaluar la calidad ambiental en un sitio determinado. Estos factores de igual manera ayudan en el planteamiento de estrategias que permiten su conservación o recuperación (Mercado *et al.*, 2002).

Este capítulo tiene como objetivo determinar la composición en las dietas y determinar diferencias ontogénicas y temporales (considerando las temporadas de secas, lluvias y nortes).

4.2. METODOLOGÍA

4.2.1. Análisis de contenido estomacal

El contenido de los estómagos obtenidos de las diferentes especies fue examinado con un estereoscopio binocular (Fig. 22). Las diferentes presas o ítems alimenticios encontrados se identificaron hasta el nivel taxonómico más bajo posible, para ser posteriormente separados en categorías funcionales. Siguiendo la metodología de Tirasin y Jørgensen (1999) fueron contados y se le determinó individualmente a cada ítem el porcentaje en área (%A; $\pm 0.1 \text{ cm}^2$) y el porcentaje en peso (%W; $\pm 0.0001 \text{ g}$). Estas escalas fueron ajustadas a todo el procedimiento debido a que las muestras estomacales de los peces capturados por arrastre, son necesarias aplicarles una precisión apropiada, en especial el factor peso (Tirasin y Jørgensen, 1999).

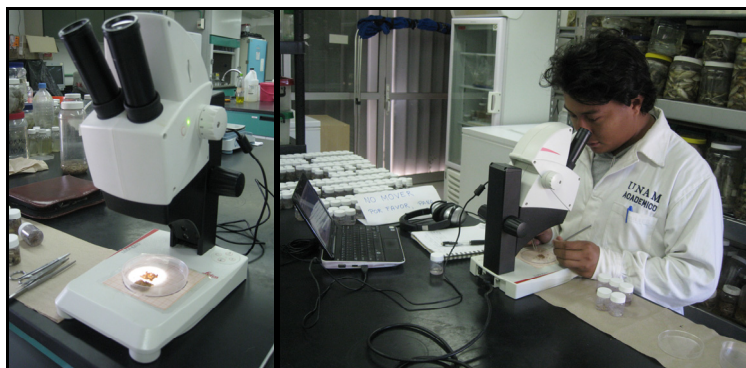


Fig. 22. Estereoscopio binocular modelo Leica EZ4 D utilizado.

4.2.2. Frecuencias de ocurrencia

El porcentaje de frecuencia (%FO) es definido por la siguiente expresión:

$$\%FO = \left(\frac{Ni}{NE} \right) \times 100 \quad (6),$$

donde N_i es el número de estómagos con cierto componente alimenticio y NE es el número total de estómagos analizados con contenido estomacal.

4.2.3. Índice de importancia relativa (IRI)

El contenido de los estómagos se cuantificó por el método del índice de importancia relativa (IRI) de Pinkas *et al.* (1971) en el cuál se integran los métodos de porcentaje de frecuencia, numérico y gravimétrico. Los porcentajes numérico y gravimétrico de cada presa fueron calculados de acuerdo a Tirasin y Jørgensen (1999).

El cálculo del IRI se realizó por la suma del porcentaje en área y el porcentaje gravimétrico, multiplicados por el valor porcentual de la frecuencia, quedando la siguiente expresión:

$$IRI = \%FO(\%A + \%W) \quad (7)$$

Donde, IRI representa el índice de importancia relativa; FO, representa la frecuencia de ocurrencia; A, el área y W, el peso. Los valores del índice de importancia relativa fueron expresados como un porcentaje (%IRI) del total de componentes analizados (Cortés, 1997). En caso de haber contenido con detritus o contenido planctónico difícil de cuantificar se utilizó la modificación de la ecuación (7) propuesta por Rodríguez y Villamizar (2006), en la que los valores gravimétricos son substituidos por los obtenidos con el método de frecuencia de superficie de punto intercepto. Los estómagos vacíos fueron descartados de los análisis ya que no representa aporte al porcentaje gravimétrico (Tirasin y Jørgensen, 1999).

4.2.4. Cambios temporales y ontogénicos

Para determinar los cambios durante las diferentes etapas de crecimiento de los peces analizados en las tres temporadas climáticas, se establecieron intervalos clases de tallas de 2.0 cm. Según Deudero (2001), no debe utilizarse intervalos mayores de 5.0 cm en función al número de organismos y las tallas máximas y mínimas de longitud total registradas para cada especie. Se realizaron análisis de similitud (ANOSIM) utilizando el paquete estadístico PRIMER 5 (Clarke y Gorley, 2001) para determinar las

diferencias en las dietas entre las diferentes clases de tamaños para cada especie y evaluar los cambios ontogénicos y temporal en el consumo de presas.

4.3. RESULTADOS

4.3.1. Composición de dietas

4.3.1.1. *Lagodon rhomboides*

Esta especie presentó parasitismo en la cavidad bucal por el isópodo *Cymothoa excisa*, probablemente produjo una obstrucción para ingerir alimento y en gran mayoría los estómagos estuviesen vacíos, afectando incluso su crecimiento (esta sección fue ampliamente analizada en el Capítulo V). Se logró analizar 115 de un total de 448 estómagos con contenido, donde ocurrieron siguientes tasas: poliquetos, decápodos, tanaidáceos, anfípodos, bivalvos, peces, huevos de peces y pastos marinos. Las presas con mayor ocurrencia e importancia fueron los crustáceos (Tabla 8); aunque también ocurrieron de igual manera los engráulidos (Fig. 23).

Tabla 8. Composición en área (%A), peso (%W), frecuencia de ocurrencia (%FO) e Índice de Importancia Relativa (%IRI) en porcentajes de *L. rhomboides* ($N = 115$; $2.1 \leq Lt \leq 20.0$). En negrita están indicados los valores totales por categoría.

Ítems	Familia	Especie	N	%A	%W	%FO	IRI	%IRI
Poliquetos*			7	2.69	1.66	3.65	15.86	0.29
Crustáceos			86	40.78	36.85	4.48	347.70	49.43
Decápodos*	Penaidae		1	0.51	0.07	0.52	0.30	0.01
	Portunidae		1	0.51	0.14	0.52	0.34	0.01
		No identificados	73	36.01	34.30	38.02	2673.16	49.09
Tanaidáceos*	Tanaidae	<i>Tanais</i> spp.	7	1.95	1.33	3.65	11.96	0.22
Anfípodos*	Corophiidae		4	1.79	1.02	2.08	5.85	0.11
Bivalvos*			6	3.58	2.77	3.13	19.86	0.36
Peces*			65	14.58	20.99	3.39	120.43	8.84
	Scianidae		1	0.13	0.15	0.52	0.14	<0.01
	Clupeidae		2	1.02	1.74	1.04	2.88	0.05
	Engraulidae		28	13.56	19.25	14.58	478.44	8.79
Huevos de peces*		No identificados	2	0.38	0.11	1.04	0.52	0.01
Pasto Marino*	Cymodoceaceae	<i>Halodule</i> spp.	2	1.02	0.32	1.04	1.39	0.03
	Polyphysaceae	<i>Acetabularia</i> ssp.	58	36.84	37.14	30.21	2234.74	41.04

*, Categorías de presas; N, número de presas encontradas en todos los estómagos examinados.



Fig. 23. Pez de la familia Engraulidae encontrado en los contenidos estomacales de *L. rhomboides*. Tomado bajo un enfoque de 20X en el estereoscopio binocular.

4.3.1.2. *Sphoeroides testudineus*:

Se analizaron 405 estómagos con contenido estomacal de un total de 461 especímenes. Se identificaron los ítems a los niveles más bajos posibles, y ocurrieron un total de doce categorías: tanaidáceos, bivalvos, decápoda, anfípodos, isópodos, maxilópodos, merostomatos, gastrópodos, peces, poliquetos, huevos de peces y pastos marinos. Veintiún ítems de presas se observaron durante todo el estudio. *Amaea* spp. (Epitoniidae), *Tanais* spp. (Tanaidae), y *Corophium* spp. (Corophiidae) fueron las presas más frecuentes (Tabla 9).

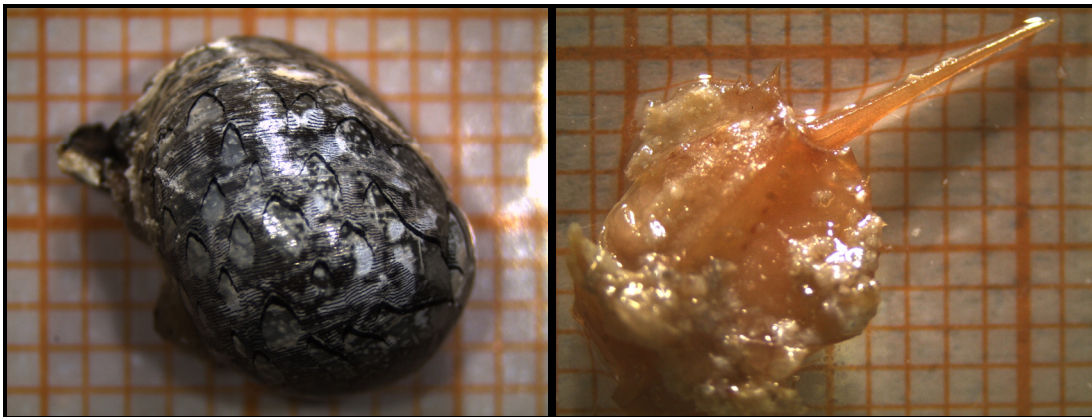


Fig. 24. Gasterópodo de la familia Neritidae (izquierda) y merostomato de la familia Limulidae (derecha) encontrados en los contenidos estomacales de *S. testudineus*. Tomado bajo un enfoque de 10X en el estereoscopio binocular. Cada cuadrícula representa 0.1 cm.

Tabla 9. Composición en área (%A), peso (%W), frecuencia de ocurrencia (%FO) e Índice de Importancia Relativa (%IRI) en porcentajes de *S. testudineus* ($N = 405$; $4.09 \leq Lt \leq 26.5$). En negrita están indicados los valores totales por categoría.

Ítems	Familia	Especie	N	%A	%W	%FO	IRI	%IRI
Poliquetos*	Eunicidae	<i>Marphysa</i> spp.	8	0.60	0.64	1.47	1.82	0.03
Crustáceos total			170	28.51	6.53	31.31	1097.01	18.91
Maxilópodos*	Balanidae	<i>Balanus</i> spp.	3	1.27	1.61	0.55	1.59	0.11
Decápodos*	Paguridae	No identificados	1	0.02	0.01	0.18	0.01	<0.01
	Portunidae	<i>Callinectes</i> spp.	2	0.26	0.14	0.37	0.15	0.01
		No identificados	5	0.93	0.80	0.92	1.60	0.11
	Penaidae	<i>Farfantapenaeus</i> spp.	9	1.96	1.56	1.66	5.84	0.40
		No identificados	16	1.38	1.10	2.95	7.32	0.49
	Gecarcinidae	<i>Cardisoma</i> spp.	31	13.03	9.30	5.71	127.51	8.62
Isópodos*	Sphaeromatidae	<i>Sphaeromatinae</i> spp.	8	0.34	0.19	1.47	0.78	0.05
Tanaidáceos*	Tanaidae	<i>Tanais</i> spp.	50	2.72	1.93	9.21	42.85	2.90
Anfípodos*	Corophiidae	<i>Corophium</i> spp.	45	6.58	4.52	8.29	91.96	6.22
Merostómatos*	Limulidae	<i>Limulus</i> spp.	24	7.08	4.12	4.42	49.49	0.85
Bivalvos*	Semelidae	<i>Semele</i> spp.	215	48.01	52.95	39.59	3997.18	68.90
Gastrópodos*			103	14.22	20.17	18.97	652.28	11.24
	Neritidae	<i>Nerita</i> spp.	31	4.45	8.78	5.71	75.52	3.04
	Epitoniidae	<i>Amaea</i> spp.	63	7.64	9.50	11.60	198.84	8.00
	Melongenidae	<i>Melongena</i> spp.	7	2.12	1.88	1.29	5.16	0.21
	Cypraeidae	<i>Cypraea</i> spp.	2	0.01	0.00	0.37	0.01	<0.01
Peces*			7	0.55	0.49	1.29	1.35	0.02
	Clupeidae	<i>Opisthonema oglinum</i>	1	0.01	0.01	0.18	<0.01	<0.01
	Engraulidae	<i>Anchoa</i> spp.	6	0.54	0.48	1.10	1.13	0.02
Huevos de peces*		No identificados	3	0.28	0.28	0.55	0.31	0.01
Pasto Marino*	Cymodoceaceae	<i>Halodule</i> spp.	13	0.76	0.20	2.39	2.30	0.04

*, Categorías de presas; N, número de presas encontradas en todos los estómagos examinados.

4.3.1.3. *Chriodorus atherinoides*:

En esta especie se analizaron 283 estómagos con contenido estomacal de un total de 320 especímenes. Se utilizó una $n = 20$ como máximo de especímenes por mes de muestreo para no producir un margen de error en los análisis. Se observaron ocho categorías de presas incluyendo: poliquetos, decápodos, tanaidáceos, anfípodos, bivalvos, peces, detritos y pasto marino (Tabla 10). Esta última categoría fueron las presas más frecuentes, principalmente del género *Halodule* y los tanáidos del género *Tanais* (Fig. 24).



Fig. 24. Tanaidáceo de la familia Tanaidae (izquierda) y anfípodo de la familia Corophiidae (derecha) encontrados en los contenidos estomacales de *C. atherinoides*. Tomadas bajo un enfoque de 20X y 40X respectivamente en el estereoscopio binocular. Escala representa 0.1 mm.

Tabla 10. Composición en área (%A), peso (%W), frecuencia de ocurrencia (%FO) e Índice de Importancia Relativa (%IRI) en porcentajes de *C. atherinoides* ($N = 283$; $8.50 \leq Lt \leq 26.0$). En negrita están indicados los valores totales por categoría.

Ítems	Familia	Especie	N	%A	%W	%FO	IRI	%IRI
Poliquetos*			7	2.27	1.71	2.46	9.77	0.13
Crustáceos total			143	36.91	30.80	50.18	3397.61	44.16
Decápodos*	Grapsidae		1	0.04	0.01	0.35	0.02	<0.01
Isópodos*	Sphaeromatidae		13	2.15	1.55	4.56	16.88	0.28
Tanaidáceos*	Tanaidae	<i>Tanais</i> spp.	126	33.36	26.12	44.21	2629.47	43.80
Anfípodos*	Corophiidae	<i>Corophium</i> spp.	3	1.36	3.13	1.05	4.73	0.08
Bivalvos*	Semelidae		5	1.51	1.37	1.75	5.05	0.07
Gasterópodos*	Epitoniidae		3	0.14	8.25	1.05	8.83	0.11
Peces*		No identificados	12	3.71	3.91	4.21	32.06	0.42
Detritus*		No identificados	2	1.36	1.17	0.70	1.78	0.02
Pasto Marino*	Cymodoceaceae	<i>Halodule</i> spp.	113	54.10	52.79	39.65	4238.18	55.09

*, Categorías de presas; N, número de presas encontradas en todos los estómagos examinados.

4.3.2. Variación Temporal y Ontogénica

Se estableció intervalos de clases de tallas de 1.0 cm para evaluar los cambios ontogénicos en la dieta de las 3 especies analizadas de la laguna de La Carbonera (Tabla 11).

Tabla 11. Intervalos de clases (cm) utilizados en los análisis de ANOSIM.

Intervalo de Clase	<i>L. rhomboides</i>	<i>S. testudineus</i>	<i>C. atherinoides</i>
I	2.0 - 3.9	4.0 - 5.9	<10.0 - 11.9
II	4.0 - 5.9	6.0 - 7.9	12.0 - 13.9
III	6.0 - 7.9	8.0 - 9.9	14.0 - 15.9
IV	8.0 - 9.9	10.0 - 11.9	16.0 - 17.9
V	10.0 - 11.9	12.0 - 13.9	18.0 - 19.9
VI	12.0 - 13.9	14.0 - 15.9	20.0 - 21.9
VII	14.0 - 15.9	16.0 - 17.9	22.0 - 23.9
VIII	16.0 - 17.9	18.0 - 19.9	24.0 - 25.9
IX	18.0 - 19.9	20.0 - 21.9	
X		22.0 - 23.9	
XI		24.0 - 25.9	
XII		26.0 - 27.9	

4.3.2.1. *Lagodon rhomboides*

En *L. rhomboides* un cambio ontogénico se observó en la dieta por intervalos de clases. Principalmente la alimentación cambió de micro-crustáceos en las tallas menores a 8.0 cm *Lt*, para luego una alimentación en su mayoría contribuida por pasto marino; en especial del genero *Acetabularia* en tallas adultas. Así como también la presencia de tanaidáceos del género *Tanais* y peces de la familia Scianidae y Engraulidae fueron recursos importantes durante tallas mayores. De igual se observó un cambio ontogénico de su alimentación con respecto a las temporadas climáticas, especialmente durante la temporada de secas donde un amplio espectro de presas fueron encontradas en comparación a las demás temporadas climáticas (Fig. 25).

4.3.2.2. *Sphoeroides testudineus*

En *S. testudineus* un cambio ontogénico en la dieta se observó por intervalos de clases de tallas (Fig. 26). Principalmente la alimentación cambio de micro-crustáceos (*Tanais* spp. y *Corophium* spp.) en las tallas menores a 13 cm *Lt*, a consumir grandes moluscos y bivalvos (Neritidae y Epitoniidae) durante tallas adultas. Así como también la presencia de *Limulus* spp., poliquetos y algas marinas ocurrieron en individuos adultos.

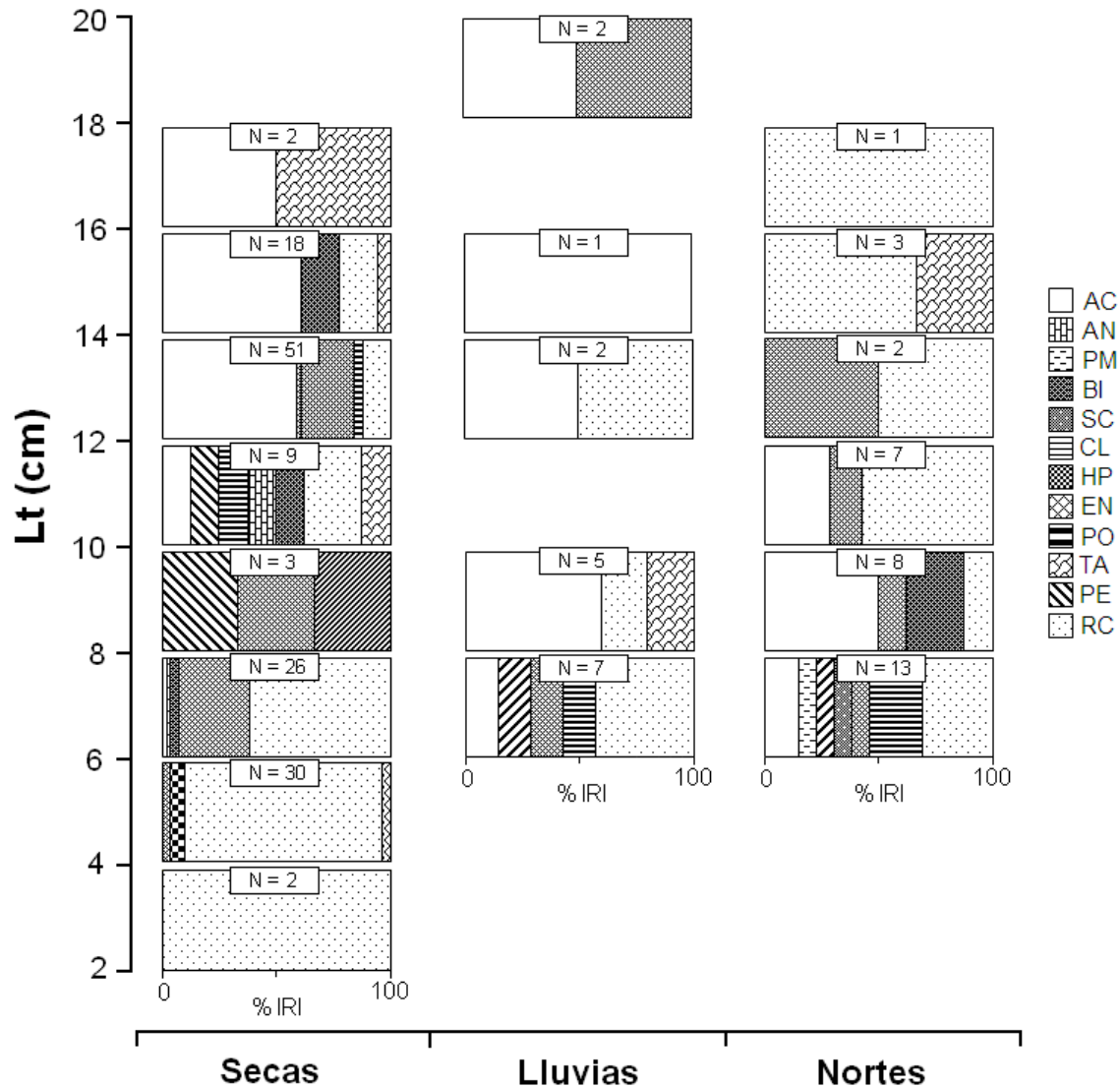


Fig. 25. Composición de las dietas de *L. rhomboides*, basadas en el porcentaje del Índice de Importancia Relativa (%IRI) en relación a la longitud total (Lt) y las temporadas climáticas. Los contenidos son: acetabularia (AC), anfípodos (AN), pasto marino (PM), sciánidos (SC), tanaidáceos (TA), clupeidos (CL), engráulidos (EN), Bivalvos (BI), penaeidos (PE), poliquetos (PO), huevos de peces (HP) y crustáceos identificados como restos (RC). N = número de estómagos analizados.

Además, se detectó una variación temporal en la composición de la dieta de *S. testudineus*, con una alta presencia de tanaidáceos en la temporada de secas, con una tendencia decreciente en la temporada de lluvias y llegando a tener poca ocurrencia en temporada de nortes. En estas últimas temporadas, un cambio en dietas basados en bivalvos y gasterópodos, fueron las principales presas en todas las clases (Fig. 26).

4.3.2.3. *Chriodorus atherinoides*

En *C. atherinoides* un cambio ontogénico en la dieta se observó por intervalos de clases de tallas (Fig. 27). Una tendencia marcada de consumir micro-crustáceos del género *Tanais* en las tallas menores para luego consumir en su mayoría pasto marino del género *Halodule* en las tallas mayores; y de igual manera la presencia de detrito en los contenidos fue considerable en estas tallas. Se observó de igual manera una tendencia ontogénica en la alimentación similar durante todas las temporadas climáticas.

4.3.3. Análisis de Similitud (ANOSIM)

Los resultados de los análisis univariados (ANOSIM) indicaron diferencias significativas en la composición de dietas entre las clases de tallas para *S. testudineus* ($r = 0.075$, $p < 0.05$), principalmente con los organismos de las clases de tallas I (4.0 – 5.9 cm) y II (6.0 – 7.9 cm). Estos organismos se alimentan principalmente de tanaidáceos, mientras que tallas mayores incrementan el consumo de bivalvos, gasterópodos y poliquetos en los organismos mayores a 10.0 cm con casi el 50% del IRI del contenido estomacal (Fig. 26).

En *L. rhomboides* se observaron diferencias en la composición de dietas entre los intervalos de clases de tallas ($r = 0.064$, $p < 0.05$). Para todas las clases de talla, las presas importantes son micro-crustáceos y anfípodos (ver Fig. 25). Las presas que hacen las diferencias entre tallas son el consumo de tanaidáceos en organismos de 2 y 6 cm (tallas I-II), y una importante ingesta de pasto marino en organismos entre 12 y 18 cm (tallas VI a IX). Se observaron diferencias en la composición alimenticia entre las tallas I-IV, I-VI, I-VIII ($r = 0.165$, $p < 0.05$) y entre la talla IV con respecto a las tallas V y VII.

Mientras tanto, en *C. atherinoides* se observó que los organismos menores a 8 cm presentan una dieta compuesta preferencialmente por tanaidáceos, isópodos y detritus, mientras que las tallas VIII y IX presentaron diferencias y se observó una importante contribución de pasto marino en estas tallas (>50% IRI, ver Fig. 27).

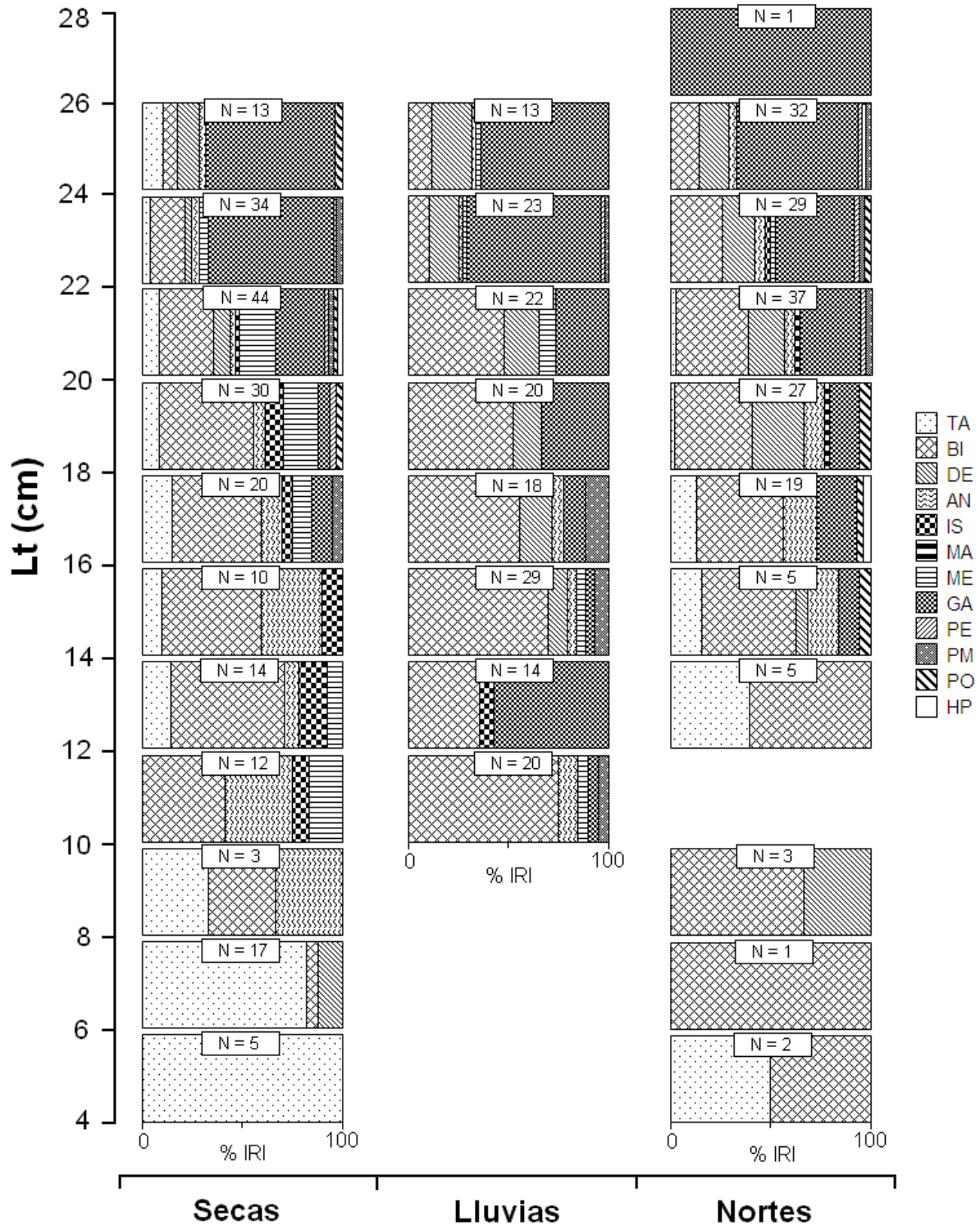


Fig. 26. Composición de las dietas de *S. testudineus*, basadas en el porcentaje del Índice de Importancia Relativa (%IRI) en relación a la longitud total (Lt) y las temporadas climáticas. Los contenidos son: tanaidáceos (TA), bivalvos (BI), decápodos (DE), anfípodos (AN), isópodos (IS), maxilópodos (MA), merostómotos (ME), gastrópodos (GA), peces (PE), pasto marino (PM), poliquetos (PO), y huevos de peces (HP). N = número de estómagos analizados.

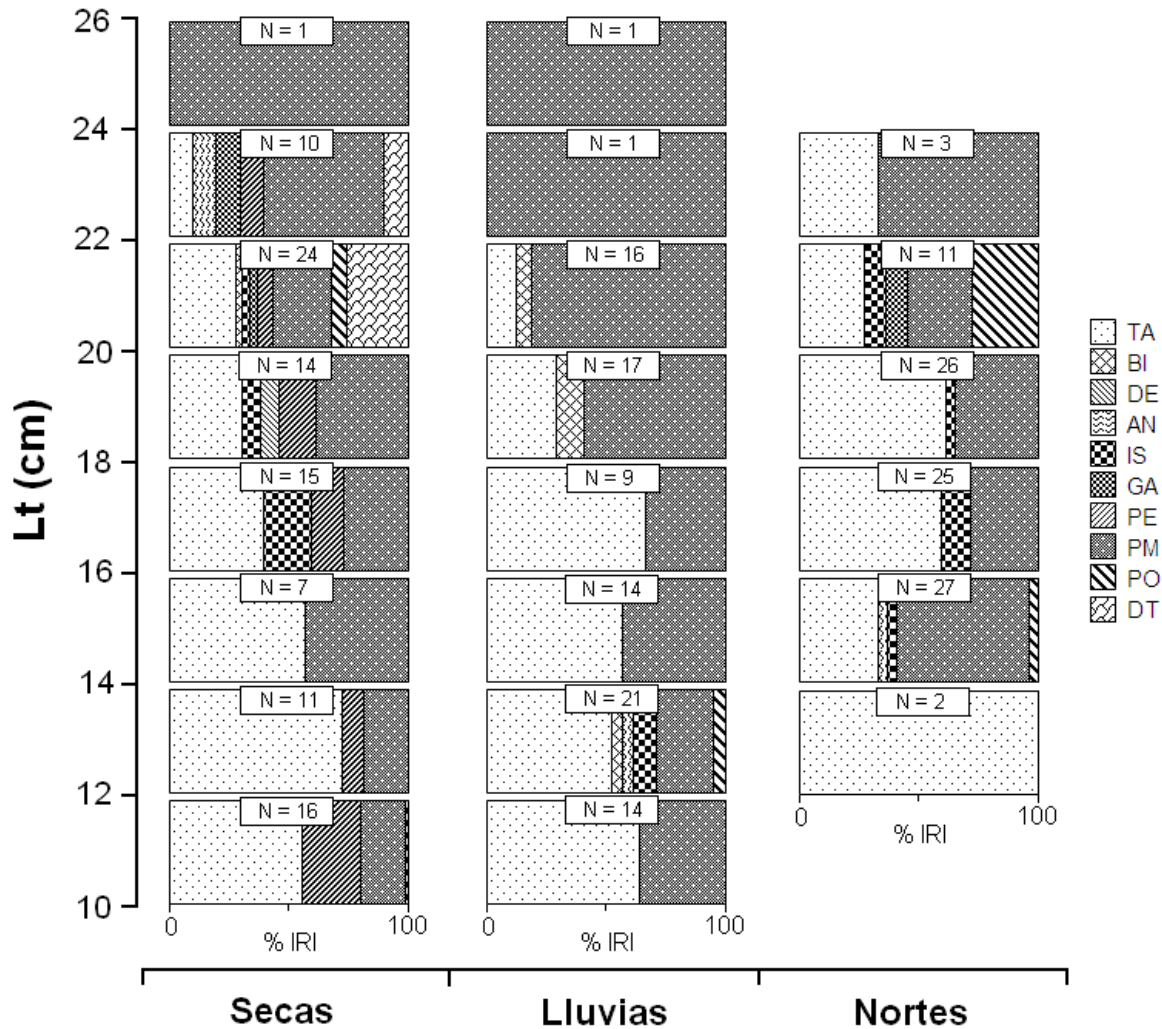


Fig. 27. Composición de las dietas de *C. atherinoides*, basadas en el porcentaje del Índice de Importancia Relativa (%IRI) en relación a la longitud total (Lt) y las temporadas climáticas. Los contenidos son: tanaidáceos (TA), bivalvos (BI), decápodos (DE), anfípodos (AN), isópodos (IS), gastrópodos (GA), peces (PE), pasto marino (PM), poliquetos (PO) y detritus (DT). N = número de estómagos analizados.

4.4. DISCUSIÓN

La variación entre las dietas podría sugerir que las especies de peces analizadas fueron omnívoras, con un comportamiento alimenticio de consumir porcentajes altos de micro-crustáceos y de pasto marino. El patrón de alimentación basada en micro-algas y micro-crustáceos, fuente rica en proteínas (Deudero, 2001) en ejemplares de menores tallas podría estar en función de los requerimientos energéticos

para su crecimiento. La teoría de forrajeo óptimo predice que los predadores escogen presas que maximizan la energía ganada por unidad de tiempo gastada en la búsqueda. Sin embargo, capturar crustáceos puede ser más un gasto energético (Deudero, 2001).

La alta presencia de micro-crustáceos en los contenidos puede ser explicada por una probable preferencia de las especies de peces de consumir presas debido a su menor tamaño. Por otro lado, el consumo de micro-crustáceos en las etapas tempranas del desarrollo puede deberse también a su disponibilidad en el medio (Poot-Salazar *et al.*, 2005). La dieta observada durante este trabajo para *L. rhomboides* es similar a lo reportado por en otros sistemas lagunares en la región peninsular de Yucatán (Vega-Cendejas *et al.*, 1998; Canto-Maza y Vega-Cendejas, 2008), quienes también describen a esta especie como omnívora, teniendo como componentes principales en su dieta los crustáceos, moluscos, peces y vegetación. Vega-Cendejas *et al.* (1997) la reportan en la laguna de Celestún como un consumidor de micro-crustáceos bentónicos, incluyendo a los peces, material vegetal y poliquetos en menor cantidad.

Cabe mencionar también el hecho del gran aporte que representó en las dietas la presencia de pastos marinos. Estos presentan una alta productividad primaria y garantizan un aumento de materia orgánica, la cual puede ser utilizada como fuente de energía básica para diversos organismos tales como micro-crustáceos y peces (Hemminga y Duarte, 2000).

El efecto del tamaño corporal en la dieta, como en el caso de *S. testudineus*, puede ser atribuido a los fuertes dientes que presentan los adultos que pueden triturar los caparazones calcáreos de los moluscos (Arceo-Carranza *et al.*, 2013); los cuales contribuyeron significativamente a la dieta de esta especie en tallas grandes. Post (2003) reporta que un mayor tamaño de los dientes conducen a alimentos más grandes en dietas. Además, se detectó una variación estacional en la composición de la dieta de *S. Testudineus* en las mismas clases de tamaño En la época seca hubo una alta presencia de tanaidáceos hasta la temporada de lluvias, mientras tanto los

gasterópodos estuvieron ausentes en esta temporada y se observaron bivalvos de mayor tamaño como las principales presas en todas las clases de tallas (Fig. 23).

¿Por qué el cambio de dieta entre estaciones climáticas, incluso dentro de la misma clase de tamaño? Un posible factor puede ser atribuido a un cambio en la disponibilidad de presas a lo largo de las temporadas, debido a los cambios estacionales acentuados en las condiciones ambientales y la productividad del hábitat cárstico estudiado (Lankford, 1977). Huss *et al.* (2008) reportaron que el cambio de las dietas no es necesariamente una función del tamaño del cuerpo, sino que el cambio de dieta se produce a menudo con los cambios temporales en la disponibilidad de presas. La ocurrencia de micro-crustáceos en la dieta fue mayor en la temporada de secas, y la de los pastos marinos fue mayor durante la temporada de lluvias; debido a que probablemente son más disponibles durante estas temporadas, como se ha observado similarmente en otros estudios resultando con una mayor depredación de anfípodos (Arceo-Carranza *et al.*, 2013) y de macrófitas (Chí-Espínola y Vega-Cendejas, 2013) por parte de varias especies de peces en temporada de secas y de lluvias, respectivamente. Agua somera, alta temperatura del agua, baja salinidad y la entrada de agua dulce subterránea del suelo cárstico permeable, son condiciones que permiten un aumento de la clorofila-*a* (Tapia *et al.*, 2008). Así, es posible plantear la hipótesis de que la abundancia de las presas está relacionada con los pulsos de productividad primaria (Contreras *et al.*, 1993). Los niveles de nutrientes son generalmente altos en la temporada de lluvias; combinado con las altas temperaturas se produce un incremento en las concentraciones clorofila-*a* que permite el crecimiento de las poblaciones de moluscos (Kennedy y Mihursky, 1971). La presencia de los vientos del norte por lo general reduce la temperatura, por lo que resultan importantes para el control de las características medioambientales de este sistema cárstico somero (ver Fig. 6). Así, los cambios estacionales en el tamaño o abundancia de organismos presa debido al aumento o disminución de la clorofila-*a* en un hábitat cárstico son los factores clave que regulan los cambios en la dieta de las especies analizadas. Otro aspecto importante de estos cambios ontogénicos en la dieta es que permiten una distribución de los recursos

con otras especies, la cual genera mayores tasas de crecimiento entre las especies y reducen la competencia inter-específica (García-Berthou y Moreno-Amich, 2000).

4.5. CONCLUSIÓN

Este capítulo permitió concluir que los componentes del espectro trófico analizados en las diferentes especies por medio del porcentaje de la importancia relativa y la frecuencia de ocurrencia determinaron diferencias en su alimentación a través de diferentes intervalos clases de tallas. Se detectó una variación temporal en la composición de la dieta de las especies estudiadas, incluso dentro de las mismas clases de tamaño, un posible factor de esta variación puede ser atribuido a un cambio en la disponibilidad de presas a lo largo de las temporadas climáticas, debido a las variaciones estacionales acentuadas en las condiciones ambientales y la productividad del hábitat cárstico estudiado.



CAPITULO V - Tesis Doctoral

PARASITISMO EN PECES COSTEROS
IMPLICACIONES EN EL CRECIMIENTO POBLACIONAL:
*Caso de estudio **Lagodon rhomboides***

CAPÍTULO 5

UN REGISTRO NUEVO DE *LAGODON RHOMBOIDES* (PISCIFORMES: SPARIDAE) COMO HOSPEDERO DE *Cymothoa excisa* (ISOPODA: CYMOTHOIDAE): IMPLICACIONES SOBRE EL CRECIMIENTO POBLACIONAL

Resumen

Se registra por primera la incidencia del isópodo *Cymothoa excisa* como parásito del pez sargo, *Lagodon rhomboides*, y se muestra la influencia de parasitismo en el crecimiento de *L. rhomboides* obtenidos en la Carbonera, una laguna costera tropical en la costa noroeste de la península de Yucatán, México. Se colectó un total de 448 ejemplares entre abril de 2009 y marzo de 2010. Se obtuvieron 28 individuos parasitados con el isópodo con una tasa de prevalencia general del 6.2%. Adicionalmente, se obtuvo la relación longitud-peso ($P = a L^b$) tanto en los peces parasitados como en los no parasitados. Los parámetros a y b fueron diferentes ($p < 0.05$) entre los peces no parasitados ($a = 0.00003$; $b = 2.91$) y parasitados ($a = 0.0005$; $b = 2.31$). La presencia del isópodo parásito afecta el crecimiento de *L. rhomboides* lo cual indica que *C. excisa* es un factor de riesgo para las poblaciones de ésta y otras especies de peces en el área de estudio.

5.1. INTRODUCCIÓN

Los isópodos están asociados con muchas especies de peces de importancia comercial alrededor del mundo y causan pérdidas económicas a las pesquerías (Bunkley-Williams *et al.*, 2006). La presencia de isópodos parásitos tiene un efecto negativo en la fisiología del hospedero reduciendo significativamente el crecimiento (Bashirullah, 1991; Bunkley-Williams y Williams, 1999). El huésped y el lugar de fijación pueden ser específicos para cada género o especie de isópodo parásito y, en algunas especies protándricas, la presencia de una hembra adulta inhibe la transformación de una pareja con fines reproductivos (Kensley y Schotte, 1989).

El género *Cymothoa*, miembro de la familia Cymothoidae, comprende especies hermafroditas protándricas de isópodos mayormente ectoparásitos de peces (Bunkley-Williams *et al.*, 1999). *Cymothoa excisa* Perty, 1833 ha sido reportada como una especie de baja especificidad, presente en al menos nueve especies de peces para el Caribe (Weinstein y Heck, 1977; Kensley y Schotte, 1989; Williams *et al.*, 1994; Bunkley-Williams *et al.*, 1998; Bunkley-Williams *et al.*, 2006) y cuatro especies presentes en el golfo de México (Williams y Williams, 1974; Williams, 2012).

Se han realizados varios estudios en los que se analiza el crecimiento poblacional de *L. rhomboides* en varias localidades del golfo de México (Nelson, 1998, 2002; Shervette, 2007; Vega-Cendejas *et al.*, 2012). Sin embargo, sólo existe un reporte de parasitismo por el isópodo *Lironeca ovalis* en la bahía Choctawhatchee, Florida (Williams y Williams, 1978).

En este trabajo se reporta por primera vez la presencia del isópodo *C. excisa* como parásito de *L. rhomboides* en la laguna costera de la Carbonera, al noroeste de la península de Yucatán. Además, se describen los efectos de la presencia parasitaria de *C. excisa* sobre la relación peso-longitud en los individuos.

5.2. METODOLOGÍA

Los ejemplares de *L. rhomboides* colectados fueron medidos (Lt , ± 0.1 mm) y se pesaron (P , ± 0.01 g precisión). Posteriormente se realizó la extracción de los parásitos presentes en la cavidad bucal de los peces, a través de un corte en la zona lateral del pez sobre las branquias y los ejemplares fueron preservados en alcohol (70%). Se identificaron los isópodos, se sexaron y se registró la longitud del caparazón.

La prevalencia se obtuvo como el porcentaje de presencia de *C. excisa* en el hospedero considerando el sexo del parásito. Se analizó la distribución de la prevalencia en las clases de longitud de los organismos parasitados y se cuantificó la relación entre la talla del hospedero y la del parásito. Se obtuvieron los parámetros de la relación peso-longitud $P = a Lt^b$ tanto del grupo de peces parasitados como de los no parasitados, donde, P es el peso (g), Lt es la longitud total (cm), a y b son el coeficiente y el exponente de la función potencial (Froese, 2006). Se realizó una prueba de t -Student para probar la significancia entre los valores de a y b de cada grupo.

5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De un total de 448 individuos, 28 presentaron al isópodo *C. excisa* adherido a la lengua y las branquias, en muchos casos ocupando toda la cavidad bucal (Fig. 28). El intervalo de tallas de *L. rhomboides* no parasitados fue de 21 a 192 mm mientras que los peces parasitados se ubicaron entre 89 y 165 mm.

Si bien la prevalencia total del parásito es del 6.2%, al considerar sólo las tallas adultas (> 90 mm) de los peces, este porcentaje se elevó al 17%. Los valores del exponente b y del factor de condición fueron diferentes entre peces no parasitados ($a = 0.00003$; $b = 2.91$) y parasitados ($a = 0.0005$; $b = 2.31$) (Fig. 29). La presencia de *C. excisa* provoca que peces de tallas similares alcancen un menor peso.

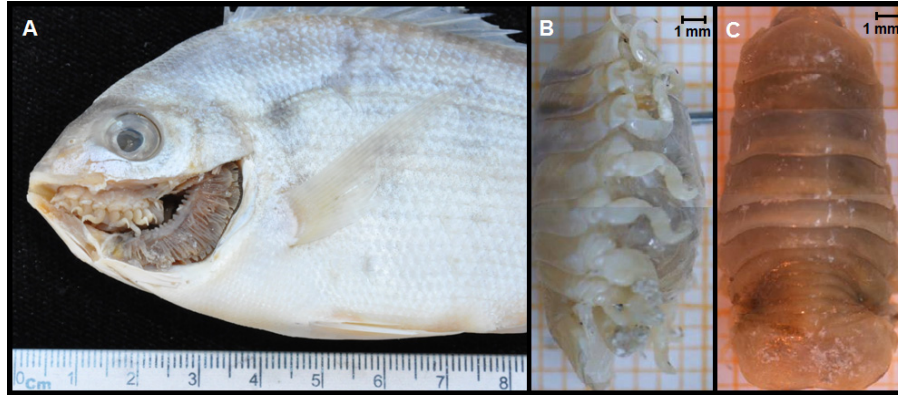


Fig. 28. Vista lateral de una hembra de *C. excisa* adherida a la lengua y parte inferior de las branquiespinas de un pez sargo, *L. rhomboides* (A) colectado en La Carbonera, Yucatán. Vista lateral (B) y dorsal (C) magnificada de una hembra de *C. excisa*.

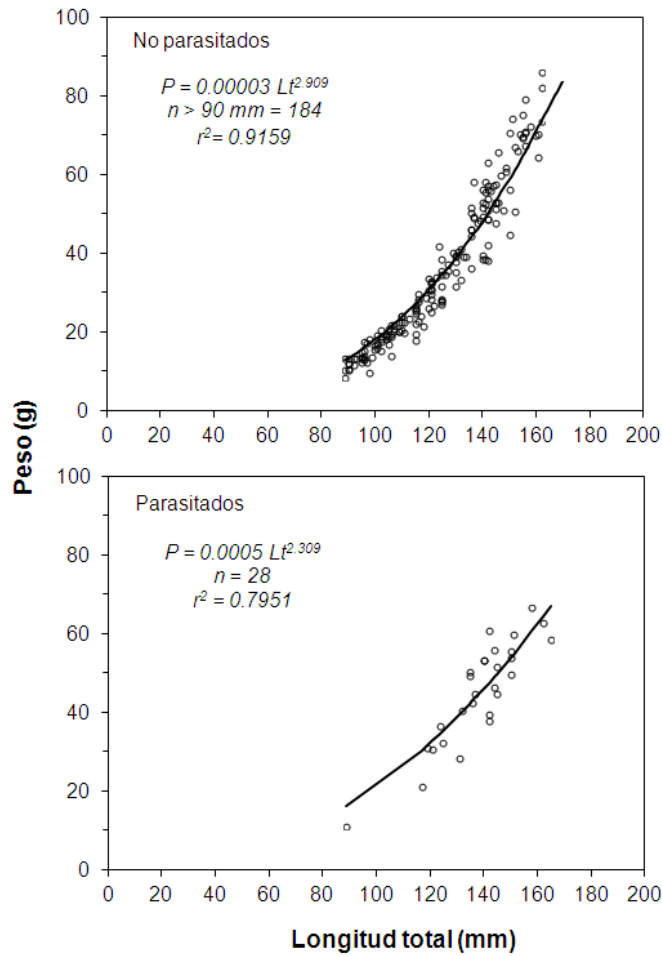


Fig. 29. Comparación de la relación de longitud-peso en *L. rhomboides* no parasitados y parasitados por *C. excisa*.

Los isópodos parásitos pueden estar presentes como hembras solitarias, machos solitarios o ambos sexos en un mismo hospedero. En el caso de *L. rhomboides*, la mayor ocurrencia de *C. excisa* corresponde a hembras solitarias, seguidas por los machos solitarios y la de ambos sexos en la cavidad bucal (Fig. 30). Se encontró una relación significativa entre la longitud total hospederos y la longitud total de los isópodos hembras ($r^2 = 0.6833$; $p < 0.05$) (Fig. 31).

Si bien el tamaño de las hembras de *C. excisa* está positivamente relacionado con el tamaño de los hospederos, la longitud de los machos no está relacionada con esta variable. Williams (2012) reporta una tendencia similar en el caso de este isópodo parasitando a *Micropogonias undulatus* en las costas de Texas. La presencia de *C. excisa* en su fase adulta, especialmente de las hembras, es mayor en peces con un tamaño mayor a los 120 mm. Esto produce una obstrucción en la cavidad bucal que reduce el lumen por lo que se obstruye la entrada de alimento al hospedero con la consecuente reducción en el crecimiento en peso, tal como ha ocurrido por otras especies de peces lutjánidos (Weinstein y Heck, 1977).

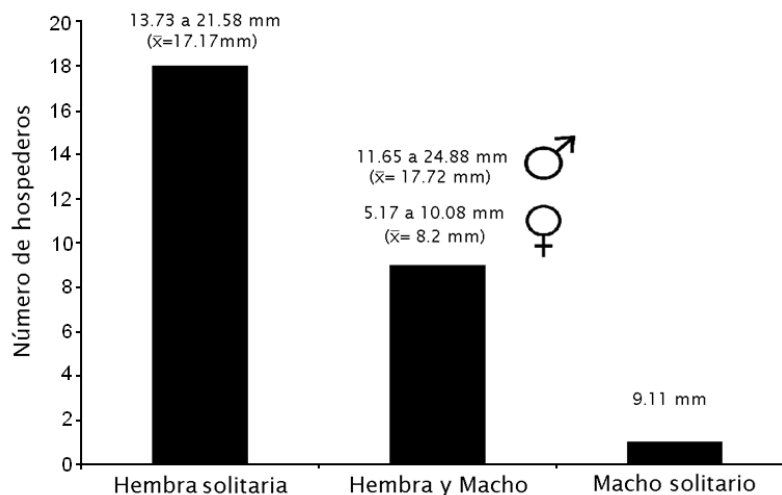


Fig. 30. Frecuencia de *C. excisa* por sexo presentes en la cavidad bucal de *L. rhomboides* (hospedero). Los datos mostrados representan el intervalo de las tallas para cada sexo y el promedio.

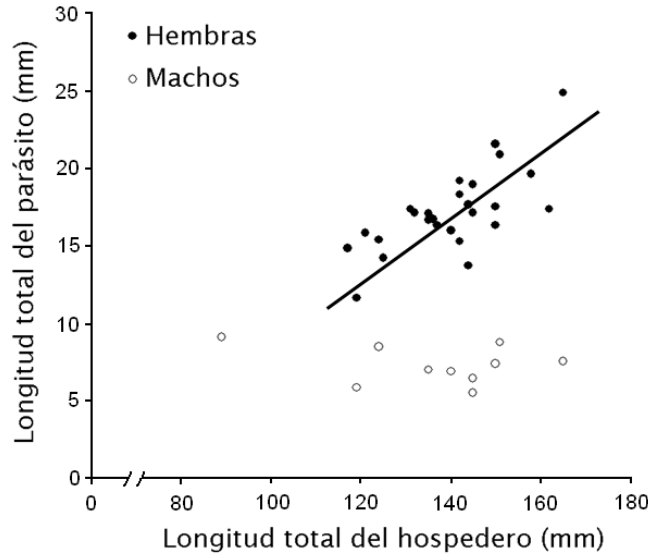


Fig. 31. Relación entre la longitud total de *L. rhomboides* (hospedero) y la longitud total del isópodo parásito, *C. excisa*, en la laguna La Carbonera, Yucatán, México.

La prevalencia de *C. excisa* en la población de *L. rhomboides* analizada en este estudio es relativamente alta en comparación con reportes en otras especies (Bunkley-Williams *et al.*, 2006).

5.4. CONCLUSIÓN

Se reporta por primera vez la presencia del isópodo *C. excisa* como parásito de *L. rhomboides* en la laguna costera de la Carbonera, al noroeste de la península de Yucatán. Los resultados indican que el parasitismo por *C. excisa* es un factor de riesgo para ésta y, posiblemente, otras especies de peces de importancia comercial en el área de estudio.



CAPITULO VI - Tesis Doctoral



SECCIÓN FINAL

CAPITULO 6

6.1. CONCLUSIONES GENERALES

En ámbitos generales de los capítulos de este trabajo podemos concluir lo siguiente:

- ✓ Los resultados sugieren que la abundancia y la distribución están altamente correlacionadas con variables ambientales. La salinidad y la profundidad fueron las principales variables que explican la variación en la distribución espacial de los peces. La salinidad también se vio afectada y se asocia principalmente con la estación seca. El oxígeno y la temperatura hacen una contribución significativa adicional para el modelo canónico.

- ✓ Estacionalmente, la abundancia y distribución de especies se asociaron fuertemente con la profundidad (secas), salinidad (lluvias) y oxígeno (nortes) con un factor de correlación de $r = 0.76$, $r = 0.83$, $r = - 0.80$, respectivamente. Se obtuvieron las relaciones peso-longitud ($P = aL^b$), la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy y los parámetros del modelo mediante un análisis de frecuencias de longitudes en las poblaciones.

- ✓ El exponente b indicó un patrón de crecimiento isométrico ($b = 3$; t -test, $p > 0.05$) todo el año. Se estimó la mortalidad natural y se proveen las primeras estimaciones mortalidad natural para en la península de Yucatán, lo que es relevante para la adecuada implementación de medidas de conservación de las especies.

- ✓ Se detectó una variación estacional en la composición de la dieta de las especies estudiadas incluso en las mismas clases de tamaño, un posible factor puede ser atribuido a un cambio en la disponibilidad de presas a lo largo de las temporadas, debido a los cambios estacionales acentuados en las condiciones ambientales y la productividad del hábitat cárstico estudiado.

- ✓ Se registró también por primera vez la incidencia del isópodo *Cymothoa excisa* como parásito y la influencia de este parasitismo en el crecimiento poblacional de *Lagodon rhomboides*, indicando que la presencia del isópodo parásito afecta el crecimiento poblacional lo cual indica que *C. excisa* es un factor de riesgo para las poblaciones de ésta y otras especies de peces en el área de estudio.

6.2. LITERATURA CITADA

- Allen G.R. 1985. Fishes of Western Australia. TFH, USA. 2205 p.
- Álvarez, A. D., Gaitán J. 1994. Lagunas costeras y el litoral mexicano: Geología. En: De la Lanza-Espino, G., Cáceres-Martínez, C. (Eds.), Lagunas costeras y el Litoral Mexicano, Universidad Autónoma de Baja California Sur. 525 p.
- Amundsen, P. A., Gabler, H. M., Staldvik, F. J. 1996. A new method for graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data. *Journal of Fish Biology*, 48: 607-614.
- Akin, S., Buhan, E., Winemiller, K. O., Yilmaz, H. 2005. Fish assemblage structure of Koycegiz lagoon-estuary, Turkey: spatial and temporal distribution patterns in relation to environmental variation. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 64: 671-684.
- ArandaCirerol, N., Comín, F., Herrera-Silveira, J. 2011. Nitrogen and phosphorus budgets for the Yucatan littoral: An approach for groundwater management. *Environmental Monitoring Assessment*, 172: 493-505. DOI: 10.1007/s10661-010-1349-z
- Arceo-Carranza, D. 2010. Patrones espacio-temporales en la estructura funcional de los ensamblajes de peces: Ría Celestún, Yucatán. Tesis de Doctorado, CINVESTAV, Mérida, México. 143 p.
- Arceo-Carranza, D., Vega-Cendejas, M. E. 2009. Spatial and temporal characterization of fish assemblages in a tropical coastal system influenced by freshwater inputs: northwestern Yucatan peninsula. *Revista de Biología Tropical*, 57: 89-103.
- Arceo-Carranza, D., Vega-Cendejas, M. E., Montero-Muñoz, J. L., Hernández de Santillana, M. J. 2010. Influencia del hábitat en las asociaciones nocturnas de peces en una laguna costera tropical. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81: 823-837.
- Arceo-Carranza, D., Vega-Cendejas, M. E., Montero-Muñoz, J. L., Hernández de Santillana, M. J. 2013. Day and night trophic variations of dominant fish species in a lagoon influenced by freshwater seeps. *Journal of Fish Biology*, 82: 54-68.

- Barletta, M., Barletta-Bergan, A., Saint-Paul, U., Hubold, G. 2005. The role of salinity in structuring the fish assemblages in a tropical estuary. *Journal of Fish Biology*, 66: 45-72.
- Batllori-Sampedro, E., González-Piedra, J. I., Días-Sosa, J., Febles-Patrón, J. L. 2006. Hydrological characterization of the Yucatan's northwest coastal región, Mexico. *Investigaciones Geográficas*, 59: 74-92.
- Beck, M. W., Heck, K. L., Able, K. W., Childers, D. L., Eggleston, D. B., Gillanders, B. M., Halpern, B., Hays, C. G., Hoshino, K., Minello, T. J., Orth, R. J., Sheridan, P. F., Weinstein, M. P. 2001. The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *Bioscience*, 51: 633-641.
- Bashirullah, A. K. M. 1991. Occurrence and site specificity of an isopod *Anilocra laticauda* H. Milne Edwards, 1840 (Isopoda, Cymothoidae) parasitic on the grunt, *Orthopristis ruber* (Cuvier) in eastern Venezuela. *Crustaceana*, 61: 38-42.
- Beddington, J. R. 1984. The response of multispecies system to perturbations. Pp. 209-226. En: May, R. M. (Ed), *Exploitation of marine communities*. Springer-Verlag, New York.
- Beitinger, T. L., Fitzpatrick, L. C. 1979. Physiological and ecological correlates of preferred temperature in fish. *American Zoologist*, 19: 319-330.
- Bendschneider, K., Robinson, R. 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea-water. *Journal of Marine Research*, 11: 87-96.
- Blaber, J. M., Blaber, T. G. 1980. Factors affecting the distribution of juvenile estuarine and inshore fish. *Journal of Fish Biology*, 17: 143-162
- Blaber, S. J. M. 1997. *Fish and fisheries of tropical estuaries*. Chapman and Hall, London. 367 p.
- Blaber, S. J. M. 2000. *Tropical estuarine fishes: Ecology, exploitation and conservation*. Blackwell Science, London.
- Bohlke, J. E., Chaplin, C. C. G. 1968. *Fishes of the Bahamas and adjacent waters*. Livingston Publishing Co., Wynnewood.
- Brower, J. E., Zar, J. H. 1977. *Field and laboratory methods for general ecology*. W.C. Brown Co. Publishers, Iowa.

- Bunkley-Williams, L., Williams, E. H. Jr. 1998. Isopods associated with fishes: A synopsis and corrections. *Journal of Parasitology*, 84: 893-896.
- Bunkley-Williams, L., Williams, E. H. Jr. 1999. *Nerocila benrosei* n. sp. (Isopoda: Cymothoidae) an external parasite of hogfishes from the northern Bahamas. *Journal of Parasitology*, 85: 1036-1040.
- Bunkley-Williams, L., E. H. Williams, Jr., Bashirullah, A. K. M. 1998. Some isopods associated with Venezuelan fishes. *Caribbean Marine Studies*, 6: 27-30.
- Bunkley-Williams, L., E. H. Williams, Jr., Bashirullah, A. K. M. 2006. Isopods (Isopoda: Aegidae, Cymothoidae, Gnathiidae) associated with Venezuelan marine fishes (Elasmobranchii, Actinopterygii). *Revista de Biología Tropical*, 54(3): 175-188.
- Bunkley-Williams, L., E. H. Williams, Jr., Garzon-Ferreira, J. 1999. Some isopod and copepod parasites (Crustacea) of Colombian marine fishes. *Caribbean Journal of Science*, 35: 311-314.
- Busch, D. E., Trexler, J. C. 2003. *Monitoring Ecosystems. Interdisciplinary approaches for evaluating ecoregional initiatives.* Island Press. Washington. 209 p.
- Canto-Maza, W., Vega-Cendejas, M. E. 2007. Distribución, abundancia y preferencias alimenticias del pez sapo *Opsanus phobetron* (Batrachoididae) en la laguna de Chelem, Yucatán, México. *Revista de Biología Tropical*, 55: 979-988.
- Canto-Maza, W., Vega-Cendejas, M. E. 2008. Hábitos alimenticios del pez *Lagodon rhomboides* (Perciformes: Sparidae) en la laguna costera de Chelem, Yucatán, México. *Revista de Biología Tropical*, 56: 1837-1846.
- Carey, M. P., Wahl, D. H. 2011. Fish diversity as a determinant of ecosystem properties across multiple trophic levels. *Oikos*, 120: 84-94.
- Carpenter, S. R., Kitchell, J. F., Hodgson J. R. 1985. Cascading trophic interactions and lake productivity. *Bioscience*, 35: 634-639.
- Carpenter, K. E. 2002. *The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 3: Bony fishes part 2 (Opistognathidae to Molidae), sea turtles and marine mammals.* FAO species identification guide for fishery purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists special publication No. 5. Rome, Italy.: FAO.

- Castillo-Rivera, M., Zavala-Hurtado, J. A., Zarate, R. 2002. Exploration of spatial and temporal patterns of fish diversity and composition in a tropical estuarine system of Mexico. *Reviews in Fish Biology Fisheries*, 12: 167-177.
- Castro-Aguirre, J. L. 1978. Catálogo sistemático de los peces marinos que penetran a las aguas continentales de México con aspectos zoogeográficos y ecológicos. Instituto Nacional de la Pesca. Depto. de Pesca, México. 298 p.
- Castro-Aguirre, J. L., Espinoza-Pérez, H. S., Schmitter-Soto, J. J. 1999. Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México. Editorial Limusa, México, D.F.
- Chiappa-Carrara, X., San Vicente-Añorve, L., Monreal-Gómez, A., Salas de León, D. 2003. Ichthyoplankton distribution as an indicator of hydrodynamic conditions of a lagoon system in the Mexican Caribbean. *Journal of Plankton Research*, 25: 687-696.
- Childs, A. R., Cowley, P. D., Naesje, T. F., Booth, A. J., Potts, W. M., Thorstad, E. B., Okland, F. 2008. Do environmental factors influence the movement of estuarine fish? A case study using acoustic telemetry. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 78: 227-236.
- Chi-Espínola, A. A., Vega-Cendejas, M. E. 2013. Hábitos alimenticios de *Sphoeroides testudineus* (Perciformes: Tetraodontidae) en el sistema lagunar de Ría Lagartos, Yucatán, México. *Revista de Biología Tropical*, 61: 849-858.
- Clarke, K. R., Gorley, R. 2001. PRIMER V5: User Manual/ Tutorial PRIMER-E. Plymouth, England.
- Clarke, K. R., Warwick, R. M. 2001. Change in Marine Communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Natural Environmental Research Council, Plymouth, England.
- Cocheret de la Morinière, E., Pollux, B. J. A, Nagelkerken, I., van der Velde, G. 2003. Diet shifts of Caribbean grunts (Haemulidae) and snappers (Lutjanidae) and the relation with nursery to coral reef migrations. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 57: 1079-1089.
- CONANP. 2006. Los humedales prioritarios de México. 80 p.

- Contreras-Espinosa, F., Warner, B. G. 2004. Ecosystem characteristics and Management considerations for coastal wetlands in Mexico. *Hydrobiologia*, 511: 233-245.
- Cortés, E. 1997. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54: 726-738.
- Cruz-Escalona, V. H., Abitia-Cárdenas, L. A., Campos-Dávila, L., Galván-Magaña, F. 2000. Trophic interrelations of the three most abundant fish species from Laguna San Ignacio, Baja California Sur, Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 66: 361-373.
- Das, S. K., Chakrabarty, D. 2007. The use fish community structure as a measure of ecological degradation: A case study in two tropical Rivers of India. *Biosystems*, 90: 188-196.
- Day, W. J. Jr., Hall, C. A., Kemp, W. M., Yáñez-Arancibia, A. 1989. *Estuarine Ecology*. John Wiley and Sons, Toronto.
- De Angelis, D. L., Loftus, W. F., Trexler, J. C., Ulanowicz, R. E. 1997. Modeling fish dynamics and effects of stress in a hydrologically pulsed ecosystem. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 1: 1-13.
- Deudero, S. 2001. Interspecific trophic relationship among pelagic fish species underneath FADs. *Journal of Fish Biology*, 58: 53-67.
- Dickson, H., Moore, R. H. 1977. *Fishes of the Gulf of Mexico*. Texas A & M University Press. USA. 327 p.
- Dunson, W. A., Paradise, C. J, Van Fleet, R. L. 1997. Patterns of water chemistry and fish occurrence in wetlands of hydric pine flatwoods. *Journal of Freshwater Ecology*, 12: 553-565.
- Efron, B., Tibshirani, R. 1991. Statistical data analysis in computer age. *Science*, 253(5018): 390-395.
- Elliott, M., de Jonge, V. N. 2002. The management of nutrients and potential eutrophication in estuaries and other restricted water bodies. *Hydrobiologia*, 475/476: 513-524.

- Elliott, M., O'Reilly, M. G., Taylor, C. J. L. 1990. The Forth estuary: a nursery and overwintering area for North Sea fishes. *Hydrobiologia*, 195: 89-103.
- Farreras, S. F. 2004. Hidrodinámicas de lagunas costeras. CICESE, Baja California.
- Fetter, C. W. 1994. Applied hydrogeology. Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey.
- Field, J. G., Clarke, K. R, Warwick, R. M. 1982. A practical strategy for analyzing multi-species distribution patterns. *Marine Ecology Progress Series*, 8: 37-53.
- Franco, L., Bashirullah, K. M. B. 1992. Alimentación de lisa (*Mugil curema*) del golfo de Cariaco-Estado Sucre, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 10(2): 219-238.
- Froese, R., 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22: 241-253.
- Froese, R., Pauly, D., 2013. FishBase 2013. World Wide Web electronic publication. Disponible en: <http://www.fishbase.org/summary/1242> (accesado en Marzo 20, 2014).
- Gallardo-Torres, A., Badillo-Alemán, M., Galindo De, C., Loera-Pérez, J., García-Galano, T., Chiappa-Carrara, X. 2012. Catálogo de Peces de la Costa Norte de Yucatán. Universidad Nacional Autónoma de México, 1 ed. 184 p.
- García, C. B., Duarte, L. O. 2006. Length-based estimates of growth parameters and mortality rates of fish populations of the Caribbean Sea. *Journal of Applied Ichthyology*, 22: 193-200.
- García-Berthou, E., Moreno-Amich, R. 2000. Food of introduced pumpkinseed sunfish: ontogenetic diet shift and seasonal variation. *Journal of Fish Biology*, 57: 29-40.
- Gasca, R., Suárez-Morales, E., Vasquez-Yoemons, L. 1994. El estudio comparativo del zooplancton (biomasa y composición) en dos bahías del Mar Caribe mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 42: 595-604.
- Gayanilo, Jr., F. C., Sparre, P., Pauly, D. 1997. The FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT). FAO Computerized Information Series (Fisheries) 8. FAO, Roma, Italia.
- Gibson, R. N., Ezzi, I. A. 1987. Feeding relationships of a demersal fish assemblage on the west coast of Scotland. *Journal of Fish Biology*, 31:55-69.

- Giménez, E., Anderes, B., Moreno, V., Burgos, R. 2001. Aspectos de la conducta alimentaria del mero (*Epinephelus morio*) del Banco de Campeche. INP. SAGARPA. México. Ciencia Pesquera, 15: 165-170.
- Goecker, M. E., Valentin, J. F., Sklenar, S. A., Chaplin, G. I. 2009. Influence from hydrological modification on energy and nutrient transference in a deltaic food web. *Estuaries and Coasts*, 32: 173-187.
- Gómez-Valdés, J., Jerónimo, G. 2009. Upper mixed layer temperature and salinity variability in the tropical boundary of the California Current, 1997-2007. *Journal of Geophysical Research Oceans*. 114, C03012. DOI:10.1029/2008JC004793.
- Greenfield, D. W., Thomerson, J. E. 1997. *Fishes of the continental waters of Belize*. University Press of Florida. Gainesville, USA. 311 p.
- Harrison, T. D., Whitfield, A. K. 2006. Temperature and salinity as primary determinants influencing the biogeography of fishes in South African estuaries. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 66: 335-345.
- Hemminga, M. A., Duarte, C. M. 2000. *Seagrass Ecology*. Cambridge University. United Kingdom.
- Herrera, J. 1988. Productividad primaria ictioplanctónica del estero de Celestún, Yucatán, durante el periodo octubre 1983-abril 1984. Tesis de Licenciatura, UAG. México.
- Herrera-Silveira, J. A. 2006. Coastal lagoon of Yucatan (SE, Mexico): Research, diagnostic and management. *Ecotropicos*, 19: 94-108.
- Herrera-Silveira, J. A., Morales-Ojeda, S. M. 2010. Subtropical karstic coastal lagoon assessment, Southeast Mexico: The Yucatan Peninsula case, Pp. 307-333. En: Kennish, M. J., Paerl, H. W. (Eds.), *Coastal lagoons: Critical habitats of environmental change*. CRC Press, New York.
- Hespenheide, H. A. 1975. Prey characteristics and predator niche width, Pp. 158-180. En: Cody, M. L., Diamond, J. M. (Eds.), *Ecology and evolution of communities*. Belknap Press, Cambridge, Massachusetts.
- Hurlbert, S. H. 1978. The measurement of the niche overlap and some relatives. *Ecology*, 59(1): 67-77.

- Hurlbert, S. H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecology Monographs*, 54: 187-211.
- Huss, M., Byström, P., Persson, L. 2008. Resource heterogeneity, diet shifts and intra-cohort competition: effects on size divergence in YOY fish. *Oecologia*, 158: 249-257.
- Hyndes, G. A., Platell, M. E., Potter, I. C. 1997. Relationship between diet and body size, mouth morphology, habitat and movements of six sillaginid species in coastal waters: implications for resource partitioning. *Marine Biology*, 128: 585-598.
- Jerónimo, G., Gómez-Valdés, J. 2006. Mean temperature and salinity along an isopycnal surface in the upper ocean off Baja California. *Ciencias Marinas*, 32(4): 663-671.
- Jerónimo, G., Gómez-Valdés, J. 2007. A subsurface warm-eddy off Northern Baja California in July 2004. *Geophysical Research Letters*, 34: L06610, doi:10.1029/2006GL028851.
- Johnson, T. B., Kitchell, J. F. 1996. Long-term changes in zooplanktivorous fish community composition: implications for food webs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53(12): 2792-2803.
- Kerfoot, J. R. Jr., Lorenz, J. J., Turingan, R. G. 2011. Environmental correlates of the abundance and distribution of *Belonesox belizanus* in a novel environment. *Environmental Biology of Fishes*, 92: 125-139.
- Kennedy, V. S., Mihursky, J. A. 1971. Upper temperature tolerances of some estuarine bivalves. *Chesapeake Science*, 12: 193-204.
- Kensley, B., Schotte, M. 1989. Marine isopod crustaceans of the Caribbean. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C. 308 p.
- Kerschner, B.A., Peterson, M.S., Gilmore, R. G. Jr. 1985. Ecotopic and ontogenetic trophic variation in mojarras (Pisces: Gerreidae). *Estuaries*, 8: 311-322.
- Kjerfve, B. 1994. Coastal lagoons, Pp. 1-8. En: Kjerfve, B. (Ed.), *Coastal lagoons processes*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

- Kobza, R. M., Trexler, J. C., Loftus, W. F., Perry, S. A. 2004. Community structure of fishes inhabiting aquatic refuges in a threatened Karst wetland and its implications for ecosystem management. *Biology Conservation*, 116: 153-165.
- Krebs, C. 1998. *Ecological Methodology*. Addison Wesley Longman, New York.
- Kruskal, J. B., Wish, M. 1978. *Multidimensional Scaling*. Sage Publications, Beverley Hills.
- Kupschus, S., Tremain, D. 2001. Associations between fish assemblages and environmental factors in near shore habitats of a subtropical estuary. *Journal of Fish Biology*, 58: 1383-1403.
- Labropoulou, M., Eleftheriou, A. 1997. The foraging ecology of two pairs of congeneric demersal fish species: importance of morphological characteristics in prey selection. *Journal of Fish Biology*, 50: 324-340.
- Lankford, R. R. 1976. Coastal lagoons of Mexico: their origin and classification, Pp. 182-215. En: Wiley, M. (Ed.), *Estuarine Processes*. Academic Press, New York.
- Lankford, T. E., Targett, T. E. 1994. Suitability of estuarine nursery zones for juvenile weakfish (*Cynoscion regalis*): effects of temperature and salinity on feeding, growth and survival. *Marine Biology*, 119: 611-620.
- Lawlor, L. R. 1980. Overlap, similarity and competition coefficients. *Ecology*, 61: 245-251.
- Le Cren, E. 1951. The length-weight relation and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch, *Perca fluviatilis*. *Journal of Animal Ecology*, 20: 201-219.
- Lepš, J., Šmilauer, P. 2003. *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*. Cambridge University press, Cambridge.
- León, L.F., Escalante, M. 1994. Modelación de la Hidrodinámica de la Laguna de Nichupté, Memorias del XIII Congreso Nacional de Hidráulica, Puebla, México.
- Levins, R. 1968. *Evolution in changing environments: some theoretical explorations*. Princeton Univ. Press, Princeton, N. J. 120 p.
- Loneragan, N. R., Potter, I. C. 1990. Factors influencing community structure and distribution of different life-cycle categories of fishes in shallow waters of a large Australian estuary. *Marine Biology*, 106: 25-37.

- López-López, E., Sedeño-Díaz, J. E., López-Romero, F., Trujillo-Jiménez, P. 2009. Spatial and seasonal distribution patterns of fish assemblages in the Río Champotón, southeastern Mexico. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 19: 127-142.
- Lyons, J., Gutiérrez-Hernández, A., Díaz-Pardo, E., Soto-Galera, E., Medina-Nava, M., Pineda-López, R. 2000. Development of a preliminary index of biotic integrity (IBI) based on fish assemblages to assess ecosystem condition in the lakes of Central Mexico. *Hydrobiologia*, 418: 57-72.
- Margalef, R. 1974. *Ecología*. Ed. Omega, Barcelona. 951 p.
- Marshall, S., Elliott, M. 1998. Environmental influences on the fish assemblages of the Humber Estuary, U.K. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 46: 175-184.
- Martino, E. J., Able, K. W. 2003. Fish assemblages across the marine to low salinity transition zone of a temperate estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 56: 969-987.
- Medina-Gómez, I., Herrera-Silveira, J. A. 2003. Spatial characterization of water quality in a karstic coastal lagoon without anthropogenic disturbance: a multivariate approach. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 58: 455-465
- Mercado, S. N., Lyons, J. D., Salgado, M. G., Medina, N. M. 2002. Validation of a fish-based index of biotic integrity for streams and rivers of central México. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 12: 179-191.
- Mercado-Silva, N., Olden, J. D., Maxted, J. T., Hrabik, T. R., Vander Zanden, M. J. 2006. Forecasting the Spread of Invasive Rainbow Smelt in the Laurentian Great Lakes Region of North America. *Conservation Biology*, 20: 1740-1749.
- Meyer, D. L., Posey, M. H. 2009. Effects of life history strategy on fish distribution and use of estuarine salt marsh and shallow-water flat habitats. *Estuaries and Coasts*, 32: 797-812.
- Miller, J. M., Dunn, M. L. 1980. Feeding strategies and patterns of movement in juvenile estuarine fishes. Pp. 437-448. En: Kennedy, V. (Ed.), *Estuarine Perspectives*. Academic Press, New York.
- Moyle, P. B., Cech, J. J. Jr. 2000. *Fishes: An introduction to ichthyology*, 4th ed. Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey.

- Mumby, P. J. 2001. Beta and habitat diversity in marine systems: a new approach to measurement, scaling and interpretation. *Oecologia*, 128: 274-280.
- Muncy, R. J. (1984). Species profiles: Life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (Gulf of Mexico): Pinfish. U.S. Army Corps of Engineers Publication, Mississippi State, USA.
- Munro, J. L., Pauly, D. 1983. A simple method for comparing growth of fishes and invertebrates. *ICLARM Fishbyte*, 1: 5-6.
- Nelson, G. A. 1998. Abundance, growth, and mortality of young-of-the-year pinfish, *Lagodon rhomboides*, in three estuaries along the gulf coast of Florida. *Fisheries Bulletin*, 96: 315-328.
- Nelson, G. A. 2002. Age, growth, mortality, and distribution of pinfish (*Lagodon rhomboides*) in Tampa Bay and adjacent Gulf of Mexico waters. *Fisheries Bulletin*, 100: 582-592.
- Nemeth, D. 1997. Modulation of attack behavior and its effect on feeding performance in a trophic generalist fish. *Journal of Experimental Biology*, 200: 2155-2164.
- Pacheco, M., Paramo, J., Sánchez, C. 2010. Spatial structure of *Eucinostomus argenteus* (Pisces: Gerreidae) in the north zone of the Colombian Caribbean Sea. *Acta Biologica Colombiana*, 15: 179-194.
- Pauly, D. 1979. Theory and management of tropical multispecies stocks: a review with emphasis on the Southeast Asian demersal fisheries. *ICLARM Studies Reviews*, 1: 1-35.
- Pauly, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 39(2): 175-192.
- Pauly, D. 1983. Some simple methods for the assessment of tropical fish stocks. *FAO, Fisheries Technical Paper 234*. 54 p.
- Pauly, D. 1984a. Length-converted catch curves: a powerful tool for fisheries research in the tropics (Part II). *ICLARM Fishbyte*, 2(1): 17-19.
- Pauly, D. 1984b. Length-converted catch curves: a powerful tool for fisheries research in the tropics. (III: conclusion). *ICLARM Fishbyte*, 2(3): 9-10.

- Pauly, D. 1991. Growth of the checkered puffer *Sphoeroides testudineus*: postscript to papers by Targett and Pauly & Ingles. ICLARM Fishbyte, 9: 19-22.
- Pauly, D., Froese, R., Pasqualita, S. P., Palomares, M.L., Christensen, V., Rius, J. 2000. Trophlab Manual. Manila: ICLARM.
- Perez-Leon, S., Schmitter-Soto, J. J. 2007. Distribución y Taxonomía del género *Gambusia* (Teleostei: Poeciliidae) en el norte y oriente de la península de Yucatán, México. Uciencia, 23(2): 167-171.
- Perez-Ruzafa, A., Macos, C. 2012. Fisheries in coastal lagoons: An assumed but poorly researched aspect of the ecology and functioning of coastal lagoons. Estuarine Coastal and Shelf Science, 110: 15-31.
- Pinkas, L., Oliphant, M., Iverson, M. I. 1971. Food habits of albacore, blue fin tuna and bonito in California Waters. Department of Fish and Game of California Fisheries. Bulletin, 152: 1-105.
- Pitcher, T. J., Hart, P. J. 1982. Fisheries ecology. Chapman and Hall, London. 414 p.
- Poot-Salazar, A. V., Canto, W. G., Vega-Cendejas, M. E. 2005. Hábitos alimenticios de *Floridichthys polyommus* Hubbs, 1936 (Pisces: Cyprinodontidae) en dos sistemas lagunares costeros. Hidrobiológica, 15: 183-194.
- Post, D. M. 2003. Individual variation in the timing of ontogenetic niche shifts in largemouth bass. Ecology, 84: 1298-1310.
- Pritchard, D. W. 1967. What is an estuary? Physical viewpoint, Pp. 3-5. En: Lauff, G.S. (Ed.), Estuaries. American Association for the Advancement of Science. Washington, D.C.
- Raymundo-Huizar, A. R., Pérez-España, H., Mascaró, M., Chiappa-Carrara, X. 2005. Feeding habits of the dwarf weakfish *Cynoscion nannus* off the coasts of Jalisco and Colima, Mexico. Fisheries B-NOAA, 103: 453-460.
- Redfield, A. C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. American Scientifics, 46: 205-221.
- Reeve, M. R. 1975. The ecological significance of the zooplankton in the shallow subtropical waters of South Florida, Pp. 352-371. En: Cronin, L. E. (Ed.) Estuarine Research Vol. 1. Academic Press, New York.

- Rodríguez, J., Villamizar, E. 2006. Alimentación del pez tropical *Gobioides broussonnetii* (Pisces: Gobiidae) en la Laguna de Unare, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 54: 1093-1098.
- Rueda, M. 2001. Spatial distribution of fish species in a tropical estuarine lagoon: a geostatistical appraisal. *Marine and Ecology Progress Series*, 222: 217-226.
- Ruetz, C. R., Trexler, J. C., Jordan, F., Loftus, W. F., Perry, S. A. 2005. Population dynamics of wetland fishes: spatio-temporal patterns synchronized by hydrological disturbance? *Journal of Animal Ecology*, 74: 322-332.
- Sánchez-Botero, J. I., Pellegrini, E., Caramaschi, E., Sequeira-Garcez, D. 2008. Spatiotemporal variation in fish assemblage in a coastal lagoon without direct contact with the sea (Southeastern Brazil). *Journal of Coastal Research*, 24: 225-238.
- Sass, G. Z., Creed, I. F., Bayler, S.E., Devito, K. J. 2007. Understanding variation in trophic status of lakes in the boreal plain: 20 years retrospective using landsat TM images. *Remotes Sensing Environment*, 109: 127-141.
- Schlosser, I. J., Kallemeyn L. W. 2000. Spatial variation in fish assemblages across a beaver-influenced successional landscape. *Ecology*, 80(5): 1371- 1382.
- Schmitter-Soto, J. 1998. Catálogo de los peces continentales de Quintana Roo. ECOSUR. México. 239 p.
- Selleslagh, J., Amara, R. 2008. Environmental factors structuring fish composition and assemblages in a small macrotidal estuary (Eastern English Channel). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 79: 507-517.
- Shervette, V. R., Ibarra, N., Gelwick, F. 2007. Influences of salinity on growth and survival of juvenile pinfish *Lagodon rhomboides* (Linnaeus). *Environmental Biology of Fishes*, 78: 125-134.
- Shipp, R. L. 1974. The pufferfishes (Tetraodontidae) of the Atlantic Ocean. *Publications of the Gulf Coastal Research Laboratory*, 4: 1-163.
- Snodgrass, J. W., Burger, J. 2001. Sampling invertebrates in wetlands. En: Rader, R. B., Batzer, D. P., Wissinger, S. A. (Eds), *Bioassessment and management of North American freshwater wetlands*. John Wiley, New York.

- Soulé, M. E. 1990. The onslaught of alien species and other challenges in the coming decades. *Conservation Biology*, 4: 233-239.
- Sparre, P., Venema, S. 1995. *Introducción a la evaluación de los recursos pesqueros tropicales, Parte 1-Manual*. FAO, Roma, Italia.
- Tapia, F. U., Herrera-Silveira, J. A., Aguirre-Macedo, M. L. 2008. Water quality variability and eutrophic trends in karstic tropical coastal lagoons of the Yucatan Peninsula. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 76: 418-430.
- ter Braak, C. J. F., Prentice, I. C. 2004. A theory of gradient analysis. *Advances in Ecological Research*, 34: 235-282.
- ter Braak, C. J. F., Šmilauer, P. 2002. *Canoco reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination. Version 4.5*. Microcomputer power, Ithaca, New York.
- Thiel, R., Sepulveda, A., Kafeman, R., Nellen, W. 1995. Environmental factors as forces structuring the fish community of the Elbe estuary. *Journal of Fish Biology*, 46: 47-69.
- Tirasin, E. M., Jorgensen, T. 1999. An evaluation of the precision of the diet description. *Marine Ecology Progress Series*, 182: 243-252.
- Torres-Castro, I. L., Vega-Cendejas, M. E., Schmitter-Soto, J. J. 2009. Ictiofauna de sistemas cárstico-palustre con impacto antrópico: los petenes de Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*, 57: 141-157.
- Trejo-Torres, J. C., Durán, R., Olmsted, I. 1993. Manglares de la Península de Yucatán. Pp. 660-672. En: Salazar-Vallejo, S. I., González, N. E. (Eds.), *Biodiversidad marina y costera de México*, CONABIO, México.
- Tse, P., Nip, T. H. M., Wong, C. K. 2008. Nursery function of mangrove: A comparison with mudflat in terms of fish species composition and fish diet. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 80: 235-242.
- Valtierra-Vega, M. T., Schmitter-Soto, J. J. 2000. Hábitos alimentarios de las Mojarras (Perciformes: Cichlidae) de la laguna Caobas, Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical*, 48: 503-508.
- Van der Zanden, M. J. 2005. The success of animal invaders. *Publications of the National Academy of Science of the United States of America*, 102: 7055-7056.

- Velázquez-Velázquez, E., Vega-Cendejas, M., Navarro-Alberto, J. 2008. Spatial and temporal variation of fish assemblages in a coastal lagoon of the Biosphere Reserve La Encrucijada, Chiapas, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 56: 557-574.
- Vega-Cendejas, M. E. 2004. Ictiofauna de la reserva de la Biosfera Celestún, Yucatán: una contribución al conocimiento de su biodiversidad. *Anales del Instituto de Biología de la UNAM-Zoología*, 75: 193-206.
- Vega-Cendejas, M. E., Hernández, M., Cruz, G. 1997. Los peces de la reserva de la biósfera de Celestún. *Pronatura, península de Yucatán, A. C. The Nature Conservancy. CINVESTAV-Unidad Mérida. Yucatán, México*. 171 p.
- Vega-Cendejas, M. E., Mexicano-Cintora, G., Arce, A. M. 1997. Biology of the thread herring *Opisthonema oglinum* (Pisces: Clupeidae) from a beach seine fishery of the Campeche Bank, Mexico. *Fisheries Research*, 30: 117-126.
- Vega-Cendejas, M. E., Arreguín-Sánchez, F. 2001. Energy fluxes in a mangrove ecosystem from a coastal lagoon in Yucatan Peninsula, Mexico. *Ecological Modeling*, 137: 119-133.
- Vega-Cedejas, M. E., Hernández, M. 2004. Fish community structure and dynamics in a coastal hypersaline lagoon, Rio Lagartos, Yucatan, Mexico. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 60: 285-299.
- Vega-Cendejas, M. E., 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.
- Vega-Cendejas, M. E., de Santillana, M. H., Arceo, D. 2012. Length-weight relationships for selected fish species from a coastal lagoon influenced by freshwater seeps: Yucatan peninsula, Mexico. *Journal of Applied Ichthyology*, 28: 140-142.
- Weber, L. R, Higgins, P. S., Carlson, L. I., Janz, D. M. 2003. Development and validation of methods for measuring multiple biochemical indices of condition in juvenile fishes. *Journal of Fish Biology*, 63: 637-658.

- Weinstein, M. P., Heck, K. L. 1977. Biology and host-parasite relationships of *Cymothoa excisa* (Isopoda, Cymothoidae) with three species of snappers (Lutjanidae) on the Caribbean coast of Panama. *Fisheries Bulletin*, 75: 875-877.
- Whitfield, A. K. 1999. Ichthyofaunal assemblages in estuaries: A South African case study. *Review in Fish Biology and Fisheries*, 9: 151-186.
- Whitfield, A. K., Harrison, T. D. 2008. Fishes as Indicators of Estuarine Health and Estuarine Importance. *Encyclopedia of Ecology*, doi:10.1016/B978-008045405-4.00104-X
- Williams, C. 2012. The early life history and reproductive biology of *Cymothoa excisa*, a marine isopod parasitizing Atlantic croaker, (*Micropogonias undulates*), along the Texas coast. Master of Science Thesis, University of Texas at Austin, USA. 71 p.
- Williams, E. H., Jr., Williams, L. B. 1978. Cymothoid isopods of some marine fishes from the northern Gulf of Mexico. *Northeast Gulf Science*, 2: 122-124.
- Williams, E. H., Jr., Bunkley-Williams, L., Sanner, C. J. 1994. New host and locality records for copepod and isopod parasites of Colombian marine fishes. *Journal of Aquatic Animal Health*, 6: 362-364.
- Windell, J. T., Bowen, S. H. 1978. Methods for study of fish diets based on analysis of stomach contents. Pp. 219-226. En: Bagenal, T. (Ed.), *Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters*. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Winemiller, K., Jepsen, J. 1998. Migratory neotropical fishes subsidize foods webs of oligotrophic blackwater rivers. Pp. 115-132. En: Polis, G. A., Power, M. A., Huxel, G. R. (Eds.), *Foods webs at the landscape level*. University of Chicago Press, Chicago.
- Wootton, R. J. 1990. *Ecology of teleost fishes*. Chapman and Hall, London. 404 p.
- Wunsch, C. 1997. The vertical partition of oceanic horizontal kinetic energy. *Journal of Physical Oceanography*, 27: 1770-1794.
- Yáñez-Arancibia, A. 1986. *Ecología de la Zona Costera*. AGT Editor S.A., México.
- Yáñez-Arancibia, A., Domínguez, A. L. L., Pauly, D. 1994. Coastal lagoons as fish habits. Pp. 363-376. En: Kjerfve, B. (Ed.), *Coastal lagoon processes*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

Zar, J. H. 1999. Biostatistical analysis, 4th Ed. Prentice Hall Upper Saddle River, New Jersey.

6.3. ANEXOS

✓ Publicaciones Realizadas

- 2014 Bonilla-Gómez, J.L.**, Badillo-Alemán, M., Gallardo-Torres, A. y Chiappa-Carrara, X. Length-weight relationship, parameters of growth and mortality for the hardhead halfbeak *Chriodorus atherinoides* Goode & Bean, 1882 (Beloniformes: Hemiramphidae) from Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of Applied Ichthyology*, 30: 208-209.
- 2014 Bonilla-Gómez, J.L.**, Ramírez-Rojas, A., Badillo-Alemán, M. y Chiappa-Carrara, X. A new record of *Lagodon rhomboides* (Pisciformes: Sparidae) as a host of *Cymothoa excisa* (Isopoda: Cymothoidae) in the northwestern coast of the Yucatan Peninsula. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. Aceptado (en prensa).
- 2014 Bonilla-Gómez, J.L.**, Arceo-Carranza, D., Badillo-Alemán, M. y Chiappa-Carrara, X. Seasonal and ontogenetic diet shift in the checkered puffer *Sphoeroides testudineus*: based on a model of karstic habitat. *Journal of Applied Ichthyology*. (en revisión).
- 2013 Bonilla-Gómez, J.L.**, Badillo, M., López, K., Gallardo, A., Galindo C., Arceo-Carranza, D. y Chiappa-Carrara, X. Environmental influences on the abundance of dominant fishes in a very shallow, small coastal lagoon (Yucatan, Mexico). *Journal of Marine Science Research and Development*, 3: 118. doi:10.4172/2155-9910.1000118
- 2013 Bonilla-Gómez, J.L.**, Badillo-Alemán, M., Gallardo-Torres, A. y Chiappa-Carrara, X. Temporal variation, growth and natural mortality of two species of mojarra (Perciformes: Gerreidae) from a tropical coastal lagoon: La Carbonera, Yucatan, Mexico. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras*, 5: 57-67.
- 2012 Bonilla-Gómez, J.L.** y Chiappa-Carrara, X. Efectos ambientales en peces costeros lagunares de Yucatán, México: Un enfoque del análisis espacio-temporal utilizando métodos multidimensionales. Editorial Académica Española, España. 60p. (ISBN: 978-3-659-06270-4).
- 2012 Bonilla-Gómez, J.L.**, Tzeek-Tuz, J., Badillo, M. y Chiappa-Carrara, X. Growth and mortality of *Sphoeroides testudineus* in a tropical coastal lagoon in northwestern Yucatan Peninsula. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(4): 1237-1240.
- 2011 Bonilla-Gómez, J.L.**, Badillo, M., Tzeek, J., López-Rocha, J. y Chiappa-Carrara, X. Size, age, growth and mortality of *Lagodon rhomboides* (Pisces: Sparidae) in

a tropical coastal lagoon in northwestern of Yucatan, Mexico. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras*, 3: 99-109.

✓ **Congresos Internacionales Realizados**

2012 Bonilla-Gómez, J.L., Badillo-Alemán, M. y Chiappa-Carrara, X. Environmental factors structuring spatial-temporal habitat preferences of resident fish species from a tropical karstic coastal lagoon. 50th Conference of the Estuarine and Coastal Science Association (ECSA-50), Venecia, Italia.

2011 Bonilla-Gómez, J.L., Ramírez-Rojas, A., Chiappa-Carrara, X. y Arceo-Carranza, D. Is the fishery of the pinfish (*Lagodon rhomboides*) at risk in North-West Yucatan? Effects due to the presence of a parasitic isopod. Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute (GCFI) No. 64, Puerto Morelos, México.



Technical contribution

Length–weight relationship, parameters of growth and mortality for the hardhead halfbeak *Chriodorus atherinoides* Goode & Bean, 1882 (Beloniformes: Hemiramphidae) from Yucatan Peninsula, Mexico

By J. L. Bonilla-Gómez¹, M. Badillo-Alemán², A. Gallardo-Torres² and X. Chiappa-Carrara²

¹Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F., México; ²Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, UNAM-Sisal, Yucatán, México

Summary

This study reports length–weight relationships and growth parameters for *Chriodorus atherinoides* from La Carbonera, a karstic tropical coastal lagoon on the northwestern coast of the Yucatan Peninsula, Mexico. A total of 667 specimens were collected between April 2009 and March 2010. The length–weight relationship obtained was $W = 0.0034L^{3.22}$. This study presents the first estimation of the model parameters of the von Bertalanffy growth equation ($L_{\infty} = 27.30$ cm, $k = 0.76$ year⁻¹ and $t_0 = -0.178$ years), the instantaneous total mortality (2.51 year⁻¹) and the maximum length record (26.0 cm total length), which is greater than previously recorded.

Introduction

Chriodorus atherinoides, a member of the Hemiramphidae family (Nelson, 1994), is known colloquially as the hardhead halfbeak and locally as “pajarito cabezidura” (Spanish). It is an important estuarine-dependent fish species of ecological importance and with a geographic distribution from Florida and the Gulf of Mexico to Cuba and Yucatan (Vega-Cendejas, 2004).

The aim of this study was to present the length–weight relationship (LWR) and to estimate the parameters of growth and mortality of *C. atherinoides* from the La Carbonera lagoon in the northwestern Yucatan Peninsula.

Materials and methods

Samples of *C. atherinoides* were collected during daytime between April 2009 and March 2010 in La Carbonera lagoon, a karstic coastal lagoon in northwestern Yucatan Peninsula, Mexico (21°13′–21°14′N; 89°52′–89°54′W). Fishes were caught with a 40 m long beach seine net (Mexican government permit No. DGOPA/04031/310510.1940). Collected specimens were euthanized in ice slurry, preserved in formaldehyde (4%) and transported to the laboratory where they were measured (± 0.1 mm) and weighed (± 0.01 g). The collected fishes were classified under three climatic seasons representing dry (March–June), rainy (July–October) and

prevailing north winds (November–February) (Bonilla-Gómez et al., 2011; Tzeek-Tuz et al., 2012).

To determine parameters a and b we used a regression analysis of log-converted total weight and total length. The 95% confidence intervals for b (CI 95%) were calculated to determine if the hypothetical value of isometry (3) fell between these intervals (Froese, 2006). Parameters of the von Bertalanffy growth function (VBGF) were determined through the ELEFAN-I software included in the package FAO-ICL ARM Fish Fisheries Stock Assessment Tools (FiSAT II) (Gayanilo et al., 1997), using length–frequency distribution with class intervals of 1.0 cm total length. The VBGF is expressed as follows: $L_t = L_{\infty} [1 - \exp^{-k(t-t_0)}]$, where L_t is the length at age t , L_{∞} is asymptotic length, k is the growth rate (year⁻¹) and t_0 is the hypothetical age of fish at length is zero.

The instantaneous rate of total mortality (Z) was determined by the length converted catch curve, which in the absence of exploitation in the area of study is equivalent to the instantaneous rate of natural mortality (M). Additionally, an independent estimate of M was carried out using the empirical equation proposed by Pauly (1983).

Results and discussion

From a total of 667 specimens of *C. atherinoides* collected during the study period, 42.4% were collected in the dry season, 24.7% in the rainy season and 32.8% during the season when north winds prevailed (Table 1). A maximum length (26.0 cm total length) was recorded in October (Fig. 1), longer than reported (25.0 cm total length) by Froese and Pauly (2013). The exponent b in the combined LWRs was not statistically different from the isometric value (t -test = -0.1932 ; $P > 0.05$). This study presents the first estimation of LWR for *C. atherinoides* on the coast of Yucatan. Since b is close to 3, a is used to interpret differences (Froese, 2006), and showing differences between climatic seasons, it was significantly higher in the north winds season.

Growth parameters for *C. atherinoides* have not been previously reported; this study provides the first report for this species on the Yucatan coast. The VBGF parameters

Table 1

Seasonal descriptive statistics and estimated parameters of length-weight relationships of *Chriodorus atherinoides* in La Carbonera lagoon, Yucatan, Mexico, April 2009–March 2010

Season	N	Total length (cm)		Total weight (g)		Regression parameters					
		Min	Max	Min	Max	<i>a</i>	<i>b</i>	SE (<i>b</i>)	CI 95% (<i>a</i>)	CI 95% (<i>b</i>)	<i>r</i> ²
Dry	283	8.5	24.4	2.37	79.2	2.825E-03	3.28	0.0283	2.687E-03–2.966E-03	3.222–3.333	0.9794
Rainy	165	10.2	26.0	4.67	84.2	4.046E-03	3.30	0.0284	3.782E-03–4.310E-03	3.245–3.357	0.9881
North Winds	219	12.2	22.5	7.81	63.9	5.174E-03	2.97	0.0745	5.033E-03–5.314E-03	2.819–3.112	0.9738
Total	667	8.5	26.0	2.37	84.2	3.457E-03	3.22	0.0206	3.354E-03–3.559E-03	3.180–3.261	0.9735

N, number of specimens considered in analysis; *a*, scaling constant; *b*, slope; CI, confidence intervals; *r*², coefficient of determination.

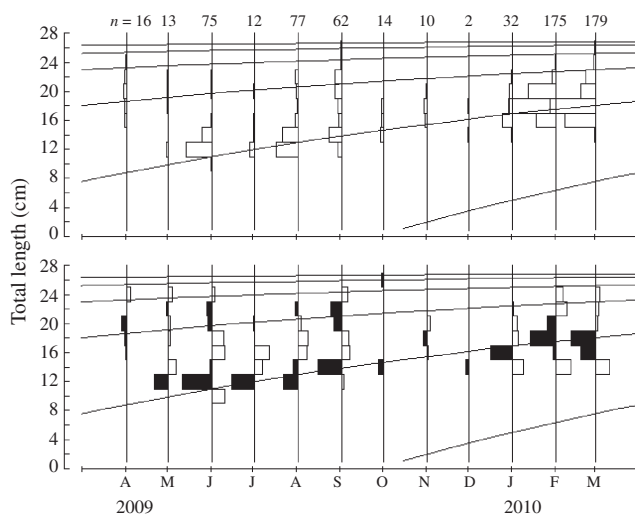


Fig. 1. Monthly growth curve variation of *Chriodorus atherinoides* based on length frequency data (above) and restructured length frequency data (below), La Carbonera, Yucatan, Mexico, computed in ELEFAN-I

were estimated as: $L_{\infty} = 27.30$ cm, $k = 0.76$ year⁻¹ and $t_0 = -0.178$ years.

The total mortality instantaneous rate (*Z*) estimated by the length converted catch curve was 1.51 year⁻¹ (1.14–1.87; 95% confidence interval). The natural mortality instantaneous rate (*M*) was 1.55 year⁻¹ in relation to the average temperature of the sampling period (28.6°C). This is the first estimate of mortality for *C. atherinoides* in the Yucatan Peninsula. Estimates of total mortality by the length converted catch curve (Pauly, 1983) are equivalent to the natural mortality rate ($Z = M$) due to the absence of fishing of this species in the study area.

Acknowledgements

This work was supported by PAPIIT (IN207609, IN213012) and FOMIX-Yucatan (103 229) research grants. Thanks to

Carmen Galindo, Korynthia López, Joel Loera, Juani Tzeek, Daniel Arceo, and Fernando Mex for their technical support during the research. We express our gratitude to Chelsea Combest-Friedman, the useful suggestions and comments from Prof. Harald Rosenthal (Editor-in-Chief, *J. Appl. Ichthyol.*) and an anonymous referee.

References

- Bonilla-Gómez, J. L.; López-Rocha, J.; Badillo, M.; Tzeek, J.; Chiappa-Carrara, X., 2011: Growth and mortality of *Lagodon rhomboides* (Pisces: Sparidae) in a tropical coastal lagoon in northwestern Yucatan, Mexico. *Rev. Mar. Cost.* **3**, 99–109.
- Froese, R., 2006: Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *J. Appl. Ichthyol.* **22**, 241–253.
- Froese, R.; Pauly, D., 2013: FishBase, 2013. World Wide Web electronic publication. Available at: <http://www.fishbase.org> (accessed on 28 June 2013).
- Gayanilo, F. C., Jr; Sparre, P.; Pauly, D., 1997: The FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT). FAO Computerized Information Series (Fisheries). No. 8. FAO, Rome, Italy, pp. 168.
- Nelson, J., 1994: Fishes of the world, 3rd edn. John Wiley and Sons, New York, pp. 600.
- Pauly, D., 1983: Some simple methods for the assessment of tropical fish stocks. FAO Fisheries Technical Paper No. 234. Rome, Italy, pp. 52.
- Tzeek-Tuz, J.; Bonilla-Gómez, J. L.; Badillo-Alemán, M.; Chiappa-Carrara, X., 2012: Length-weight relationship and parameters of growth for the checkered puffer *Sphoeroides testudineus* from a karstic tropical coastal lagoon: La Carbonera, Yucatan, Mexico. *J. Appl. Ichthyol.* **28**, 859–860.
- Vega-Cendejas, M. E., 2004: Ictiofauna de la reserva de la biosfera Celestún, Yucatán: una contribución al conocimiento de su biodiversidad. *Anales del Instituto de Biología, Serie Zoología* **75**, 193–206 (in Spanish).
- Author's address:** José Luis Bonilla-Gómez, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito exterior S/N, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, México D. F., C. P. 04510, México.
E-mail: jose.bonilla@comunidad.unam.mx



Research note

Growth and mortality of *Sphoeroides testudineus* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) in a tropical coastal lagoon in northwestern Yucatán Peninsula

Crecimiento y mortalidad de *Sphoeroides testudineus* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) en una laguna costera tropical en el noroeste de la península de Yucatán

José Luis Bonilla-Gómez¹✉, Juani Tzeek-Tuz¹, Maribel Badillo² and Xavier Chiappa-Carrara²

¹Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito exterior S/N, Ciudad Universitaria, 04510 México D. F., México.

²Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México-Sisal, Puerto de Abrigo s/n, 97365 Sisal, Yucatán, México.

✉jose.bonilla@comunidad.unam.mx

Abstract. This study reports growth parameters and mortality for *Sphoeroides testudineus* from La Carbonera, a karstic tropical coastal lagoon on the northwestern coast of the Yucatán Peninsula, Mexico. A total of 461 specimens were collected between April 2009 and March 2010. We obtained the length-weight relationship and the growth parameters of von Bertalanffy growth model (VBGM) by length frequency analysis. Additionally, mortality was estimated and analyzed. Exponent b indicated an isometric growth pattern. The growth parameters of VBGM were: $L_{\infty} = 29.50$ cm, $k = 0.77$ year⁻¹ and $t_0 = -0.168$ years. The instantaneous natural mortality was 1.53 year⁻¹.

Key words: length-weight relationship, growth, *Sphoeroides testudineus*, coastal lagoon.

Resumen. Este estudio reporta parámetros de crecimiento y mortalidad para *Sphoeroides testudineus* de La Carbonera, una laguna costera cárstica tropical en la costa noroeste de la península de Yucatán, México. Un total de 461 ejemplares se recogieron entre abril de 2009 y marzo de 2010. Se obtuvo la relación talla-peso y los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy mediante el análisis de la frecuencia de tallas. Adicionalmente, se estimó y analizó la mortalidad. El exponente b indicó un patrón de crecimiento isométrico todo el año. Los parámetros del modelo de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy fueron: $L_{\infty} = 29.50$ cm, $k = 0.77$ año⁻¹ y $t_0 = -0.168$ años. La mortalidad natural instantánea fue 1.53 año⁻¹.

Palabras clave: relación talla-peso, crecimiento, *Sphoeroides testudineus*, laguna costera.

The growth of juvenile fish is considered one of the most important factors contributing to the future recruitment of adult populations within a habitat. Length and weight relationship (LWR) parameters (a and b) are necessary variables to understanding the dynamics of a fish population (Pitcher and Hart, 1982).

Sphoeroides testudineus, a member of family Tetraodontidae, is known vernacularly as Checkered Puffer and locally as “pez globo” (Spanish). An important estuarine-dependent fish, Checkered Puffer is listed as a dominant species in many Yucatán coastal lagoons (Arceo-Carranza and Vega-Cendejas, 2009). The aim of the study was to present the LWR and to estimate instantaneous natural mortality rate of *S. testudineus* from the La Carbonera lagoon in northwestern Yucatán Peninsula.

Samples of *S. testudineus* were collected during the daytime between April 2009 and March 2010 in the La Carbonera, a karstic coastal lagoon in northwestern Yucatán Peninsula, Mexico (21°13'–21°14' N, 89°52'–89°54' W) (Fig.1). Fish were caught with a 40 m long seine net, with 1 m deep and 1.27 cm (0.5 inch) stretch mesh, in 9 sampling stations along the lagoon in each field trip. Collected specimens were euthanized in ice slurry, preserved in formaldehyde (10%) and then transported to the laboratory, where they were measured (± 0.1 mm) and weighed (± 0.01 g).

A relationship between total length and weight was used to estimate the equation: $W = a L_t^b$, where, W represents the weight (g), L_t is the total length (cm), the parameter a is a scaling constant and b is the slope of the model. To determine a and b we used a least-squares regression analysis. To assess the isometry of the estimated

b parameter was evaluated with the t -test ($H_0: b= 3.0$; with $\alpha= 0.05$) using STATISTICA 7 software. Parameters of the von Bertalanffy growth function (VBGF) were determined through the ELEFAN-I software included in the package FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT II) (Gayanilo et al., 1997), using length frequency distribution with class intervals of 2 cm of total length. The VBGF is expressed as follows: $L_t = L_\infty [1 - \exp^{-k(t-t_0)}]$, where L_t is the length at age t , L_∞ is asymptotic length, k is the growth rate, and t_0 is the hypothetical age at which fish length is zero. In order to assess the variability of k , taking into account the uncertainty in the estimation of asymptotic length, estimated values of maximum length and its 95% confidence interval from the routine Maximum Length Estimation included in FiSAT II (Gayanilo et al., 1997) were used to obtain a range of possible values of k . The parameter t_0 was calculated using the empirical formula of Pauly (1979). The instantaneous rate of total mortality (Z) was determined by the length converted catch curve (Pauly, 1983), which in the absence of exploitation in the area of study is equivalent to the instantaneous rate

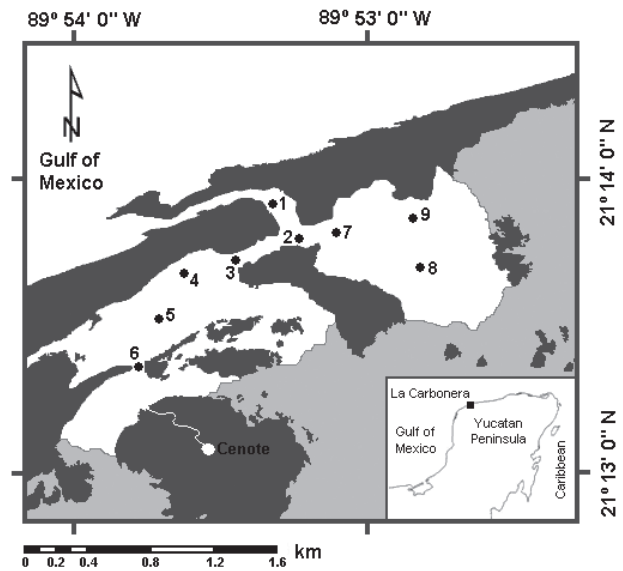


Figure 1. Map of the La Carbonera coastal lagoon with the sampling stations and the “cenote” (sinkhole). The line indicates the maximum level of the water in the rainy season, the light black zone is the wetland and the black spots are patches of mangrove.

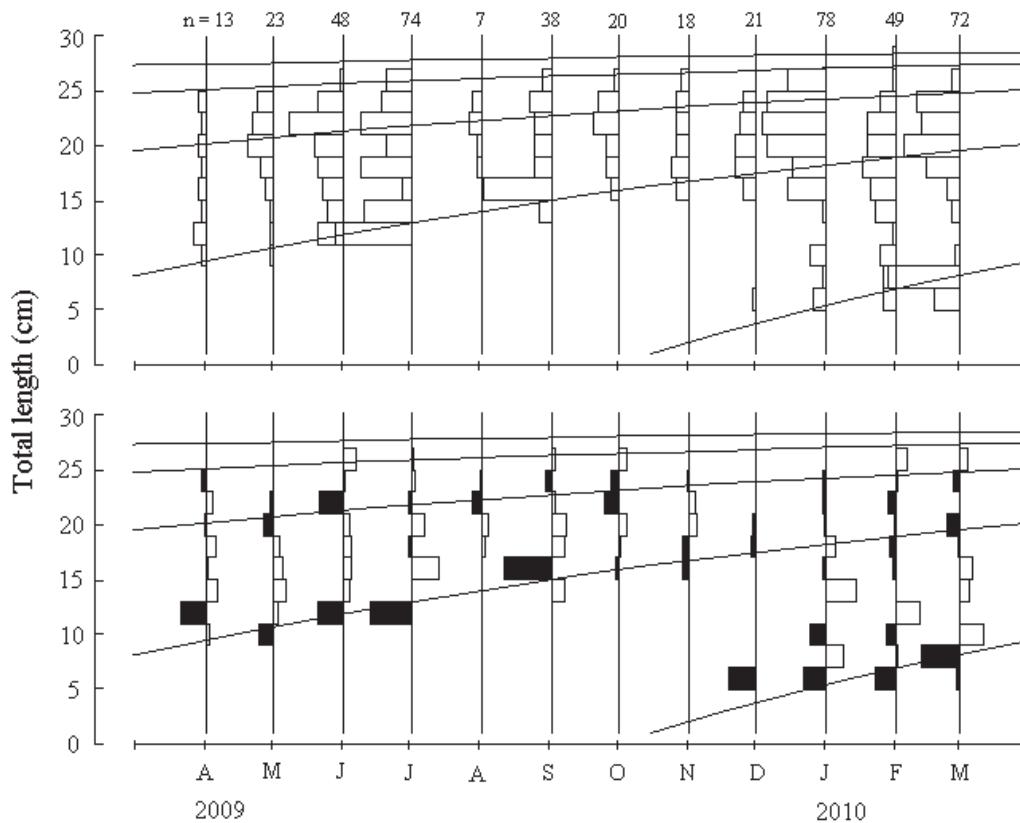


Figure 2. Monthly variation of the growth curve based on length frequency data (above) and restructured length frequency data (below) computed in ELEFAN-I of *Sphoeroides testudineus* from La Carbonera lagoon, Yucatán, Mexico.

of natural mortality (M). Additionally, an independent estimate of M was carried out using the empirical equation proposed by Pauly (1980).

A total of total of 461 organisms were collected with approximately one third per climatic season (dry, rainy, and north winds). The exponent b in the combined LWRs was not statistically different from the isometric value ($t = -0.58$; $p > 0.05$). LWR can fluctuate due to temperature and salinity or food availability and reproductive activities (Wootton, 1990); however we found no differences in b between climatic seasons (Table 1). Similar results were obtained by Mallard-Colmenero et al. (1982) from Laguna de Términos, Campeche, Gulf of Mexico. Other puffers, in particular, *Sphoeroides spengleri*, have been reported in Yucatán with allometric values ($b < 3$) (Vega-Cendejas et al., 2012), perhaps because smaller specimens were in better conditions at the time of sampling (Froese, 2006).

Growth parameters for *S. testudineus* were: $L_{\infty} = 29.50$ cm, $k = 0.77$ year⁻¹ and $t_0 = -0.168$ years, and we estimated

the monthly variation (Fig. 2). According to these results, the growth rates of *S. testudineus* along the northwestern coast of the Yucatán is higher than those which Pauly (1991) found in the Biscayne Bay, Florida. This could be due to environmentally induced variations (Munro and Pauly, 1983; Bonilla-Gómez et al., 2011).

The total mortality instantaneous rates (Z) estimated by the length converted catch curve was 1.67 year⁻¹ (0.22 - 3.12; 95% confidence interval). The natural mortality instantaneous rate (M) was 1.53 year⁻¹ in relation to the average temperature of the sampling period (28.6° C). These are the first estimates of mortality for *S. testudineus* in the Yucatán Peninsula. Estimates of total mortality by the length converted catch curve (Pauly, 1983) are equivalent to the natural mortality rate ($Z = M$) due to the absence of commercial fishing of this species in the study area.

This work was supported by PAPIIT (IN207609) and FOMIX-Yucatán (103 229) research grants. Thanks to

Table 1. Seasonal estimated parameters of length-weight relationships of *Sphoeroides testudineus*, La Carbonera, Yucatán

Season	n	Length (cm)		Weight (g)		Regression parameters		
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	a	b	r ²
Dry	156	4.09	25.60	1.70	367.60	0.0790	3.043	0.9843
Rainy	139	10.05	26.00	29.20	430.00	0.0437	2.918	0.9647
North Winds	166	4.82	26.50	2.20	388.40	0.0570	2.947	0.9799
Combined	461	4.09	26.50	1.70	430.00	0.0611	2.978	0.9792

n, number of specimens considered in analysis; a, scaling constant; b, slope; r², coefficient of determination.

Alfredo Gallardo, Korynthia López, and Carmen Galindo for their technical support during the research.

Literature cited

Arceo-Carranza, D. and M. E. Vega-Cendejas. 2009. Spatial and temporal characterization of fish assemblages in a tropical coastal system influenced by freshwater inputs: northwestern Yucatan peninsula. *Revista de Biología Tropical* 57:89-103.

Bonilla-Gómez, J. L., J. López-Rocha, M. Badillo, J. Tzeek and X. Chiappa-Carrara. 2011. Growth and mortality of *Lagodon rhomboides* (Pisces: Sparidae) in a tropical coastal lagoon in northwestern Yucatan, Mexico. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras* 3:99-109.

Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* 22:241-253.

Gayaniilo Jr., F. C., P. Sparre and D. Pauly. 1997. The FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT). FAO

Computerized Information Series (Fisheries) No. 8. FAO, Rome, Italy. 168 p.

Mallard-Colmenero, L., A. Yáñez-Arancibia and F. Amezcua-Linares. 1982. Taxonomía, biología y ecología de los tetraodontidos de la Laguna de Términos, sur del Golfo de México (Pises: Tetraodontidae). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 9:161-212.

Munro, J. L. and D. Pauly. 1983. A simple method for comparing growth of fishes and invertebrates. *ICLARM Fishbyte* 1:5-6.

Pauly, D. 1979. Theory and management of tropical multispecies stocks: A review with emphasis on the Southeast Asian demersal fisheries. *ICLARM Studies Review* 1:1-35.

Pauly, D. 1983. Some simple methods for the assessment of tropical fish stocks. FAO, Fisheries Technical Paper No. 234. Rome, Italy. 52 p.

Pauly, D. 1991. Growth of the checkered puffer *Sphoeroides testudineus*: postscript to papers by Targett and Pauly & Ingles. *ICLARM Fishbyte* 9:19-22.

Pitcher, T. J. and P. J. Hart. 1982. Fisheries ecology. Chapman

- and Hall, London. 414 p.
- Vega-Cendejas, M. E., M. H de Santillana and D. Arceo. 2012. Length-weight relationships for selected fish species from a coastal lagoon influenced by freshwater seeps: Yucatan peninsula, Mexico. *Journal of Applied Ichthyology* 28:140-142.
- Wootton, R. J. 1990. *Ecology of teleost fishes*. Chapman and Hall, London. 404 p.