



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**  
**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**TITULO:**

**IDENTIFICACIÓN DE ZOOPLANCTON NATIVO,  
EN ZONAS DE DESOVE DE PECES MARINOS Y  
EVALUACIÓN DE SU POTENCIAL PARA  
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
DOCTOR EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y MANEJO DE  
SISTEMAS TROPICALES**

**PRESENTA:**

**MCA. LEONARDO CRUZ ROSADO**

**ASESORES:**

**DR. ULISES HERNÁNDEZ VIDAL  
DR. WILFRIDO MIGUEL CONTRERAS SÁNCHEZ**

**VILLAHERMOSA, TABASCO, MÉXICO**

**SEPTIEMBRE 2020**



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**



**2020  
LEONA VICARIO**

SEPTIEMBRE 17 DE 2020

**C. LEONARDO CRUZ ROSADO  
PAS. DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y  
MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES  
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales titulado: **"IDENTIFICACIÓN DE ZOOPLANCTON NATIVO, EN ZONAS DE DESOVE DE PECES MARINOS Y EVALUACIÓN DE SU POTENCIAL PARA SISTEMAS DE PRODUCCIÓN"**, asesorado por Dr. Ulises Hernández Vidal y Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por el Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez, Dr. Arturo Garrido Mora, Dr. Ulises Hernández Vidal, Dr. Juan Carlos Pérez Urbiola, Dra. Wendy Arévalo Frías, Dr. Enrique Raúl Hernández Gómez y Dr. Gabriel Núñez Nogueira.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE  
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR**

UJAT  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente del Alumno.  
C.c.p.- Archivo

## CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de doctorado denominado: "IDENTIFICACIÓN DE ZOOPLANKTON NATIVO, EN ZONAS DE DESOVE DE PECES MARINOS Y EVALUACIÓN DE SU POTENCIAL PARA SISTEMAS DE PRODUCCIÓN", de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionado, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro, autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en este documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco a los 17 días del mes de septiembre de dos mil veinte.

AUTORIZO



---

LEONARDO CRUZ ROSADO

## AGRADECIMIENTOS

A mis directores de tesis el Dr. Ulises Hernández Vidal y El Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez por su paciencia y motivación.

Al Dr. Jaime Gómez Gutiérrez del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR) por su valioso apoyo y que a pesar de la distancia, siempre pude contar con su apoyo incondicional.

Al Dr. Juan Carlos Pérez Urbiola por su plena disposición que siempre tuvo en apoyarme y en recibirme para realizar la estancia de investigación en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR).

Al Dr. Eduardo Suárez Morales por su apoyo en la determinación de la especie de copépodo aislada en el Departamento de Sistemática y Ecología Acuática en El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) Unidad Chetumal.

A la Mtra. Mary Contreras García y el Mtro. Alejandro Mcdonal Vera por su apoyo en la realización de los muestreos de zooplancton.

A la Biol. Sobeyda Jiménez Frías, al pasante de Biól. Valentín Uriel Gómez López y el Biól. Pablo Custodio Rodríguez por su invaluable apoyo siempre.

También agradezco a los integrantes de mi comité de Tesis el Dr. Wilfrido M. Contreras-Sánchez, el Dr. Arturo Garrido-Mora el Dr. Ulises Hernández-Vidal, El Dr. Juan Carlos Pérez Urbiola la Dra. Wendi Arévalo-Frías, el Dr. Raúl Enrique Hernández Gómez y el Dr. Gabriel Núñez Nogueira por sus comentarios para enriquecer mi trabajo doctoral.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado una beca para poder realizar los estudios de posgrado y a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por facilitarme el uso de las instalaciones del Laboratorio de Acuicultura Tropical.

Finalmente agradezco al Sindicato de Profesores e Investigadores de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (SPIUJAT), por sus gestiones en las exenciones de pago en las reinscripciones.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## **DEDICATORIA**

A MIS PADRES: Samuel Cruz Cruz y Ana Alicia Rosado Villasis.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## ESTRUCTURA DE LA TESIS

La presente tesis aborda diferentes aspectos del zooplancton presente en una zona de desove de robalos ubicada en la costa del Estado de Tabasco, la revisión taxonómica de los organismos recolectados y la variación estacional. Además, se aisló y cultivó una especie de copépodo marino nativo, arrojando como producto un protocolo de producción en cautiverio. De manera paralela, se describió el ciclo de vida de la especie aislada.

El documento cuenta además con los resúmenes en inglés y en español de igual forma con una introducción general. Los artículos propuestos cubren con las normas editoriales de las revistas consideradas; dos de estos capítulos ya fueron aceptados para su publicación. A continuación, se describen los seis capítulos con los que cuenta el documento de tesis.

En el **capítulo I** se encuentra el protocolo de tesis aprobado por el comité tutorial, que incluye la introducción, justificación, antecedentes, hipótesis de trabajo y objetivos, así como la metodología. En el marco teórico se describe el uso de los copéodos como alimento vivo en la acuicultura, dicha información sirve como soporte de la investigación. El **capítulo II** consiste en un artículo científico publicado en septiembre de 2020 en la Revista Latin American Journal of Aquatic Research (LAJAR) y titulado “Seasonal variability of near-surface zooplankton community structure in the Southern Gulf of Mexico”. El **capítulo III** contiene la descripción del proceso de aislamiento y las características del ciclo de vida del copépodo *Apocyclops panamensis* recolectado en la costa de Tabasco. El **capítulo IV** contiene una publicación titulada “Population growth of a generational cohort of the copepod *Apocyclops panamensis* under different temperatures and salinities” que ha sido aceptado para su publicación en la revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios (ERA) en el número mayo-agosto 2020. El **capítulo V**, contiene la descripción de la metodología de los cultivos a escala piloto para el copépodo *A. panamensis* y la descripción del protocolo de producción masiva. El **capítulo VI** aborda la discusión general, conclusiones y referencias generales. Por último, el **anexo I** contiene las normas editoriales de las revistas LAJAR y ERA, a las que se enviaron los artículos para publicación.

## RESUMEN

Se analizó la composición del zooplancton en un área de desove de Centropomidae de marzo de 2011 a febrero de 2012 cerca de la desembocadura del río González en la cuenca Grijalva-Usumacinta. Para la colecta se usaron redes de apertura de mallas de 20, 64, y 120  $\mu\text{m}$ . Dieciséis grupos de zooplancton fueron identificados, los grupos que dominaron la estructura de la comunidad fueron; Copepoda (76.9%), Trematoda (6.7%), Bivalvia (4.6%), y Chaetognatha (Sagittoidea) (4.3%). El zooplancton fue más abundante de junio a octubre (estación de tormentas de verano) y estuvo asociado a bajas salinidades principalmente por los altos volúmenes de descarga que aporta el sistema Grijalva-Usumacinta. Los picos más altos de zooplancton se observaron en noviembre durante el comienzo de las tormentas de verano. Nueve grupos de zooplancton se observaron frecuentemente abundantes durante la estación de tormentas de verano mientras que solo cinco grupos fueron abundantes en la estación seca. Posterior a la identificación del zooplancton nativo, se procedió al aislamiento de copépodos nativos para establecer protocolos de cultivo susceptibles de ser usados como alimento vivo en acuicultura. La colecta se hizo en la desembocadura de la laguna Mecoacán, Paraíso, Tabasco. Como resultado de las recolectas se aisló una especie de Copépoda Cyclopoida determinada como *A. panamensis*. Posteriormente se evaluó su temperatura y salinidad óptima de cultivo, ( $24^{\circ}\text{C}$ -28;  $24^{\circ}\text{C}$ -32;  $24^{\circ}\text{C}$ -36;  $28^{\circ}\text{C}$ -28;  $28^{\circ}\text{C}$ -32;  $28^{\circ}\text{C}$ -36;  $32^{\circ}\text{C}$ -28;  $32^{\circ}\text{C}$ -32; and  $32^{\circ}\text{C}$ -36), utilizando nauplios de una misma cohorte, durante 14 días y alimentada con *Tetraselmis chuii* a una densidad 20,000 cel/ $\text{mL}^{-1}$ . El ANOVA factorial indicó que la temperatura tuvo un efecto significativo en la abundancia total de copépodos al día 14 del experimento ( $p=0.02$ ), mientras que la salinidad no mostró un efecto significativo ( $P = 0.06$ ) en la población total de *A. panamensis*. El mayor crecimiento poblacional se registró en el tratamiento  $32^{\circ}\text{C}$ -28 de salinidad, con una población de 1,380.95 ind  $\text{L}^{-1}$  ( $\pm 1267.06$ ) y al final del experimento los tratamientos  $32^{\circ}\text{C}$ -28 y  $32^{\circ}\text{C}$ -32 fueron los que produjeron mejores resultados. Finalmente, en el estudio del ciclo de vida de *A. panamensis* a  $28^{\circ}\text{C}$  y 28 de salinidad, se pudo observar que se completa en seis días, atravesando por seis etapas de nauplio, cinco etapas de copepodito, para finalmente alcanzar la etapa adulta. La producción máxima que se alcanzó a producir masivamente en tanques con capacidad de



mil litros fue de 11.600 Cop/L en un periodo de dos meses, además se logró establecer un protocolo de cultivo de la especie aislada.

## ABSTRACT

The composition of the zooplankton in a Centropomidae spawning area was analyzed from March 2011 to February 2012 near the mouth of the González river in the Grijalva-Usumacinta basin. Plankton nets of 20, 64, and 120  $\mu\text{m}$  were used for sampling. Sixteen groups of zooplankton were identified, the groups that dominated the community structure were Copepoda (76.9%), Trematoda (6.7%), Bivalvia (4.6%), and Chaetognatha (Sagittoidea) (4.3%). Zooplankton was most abundant from June to October (summer storm season) and was associated with low salinity mainly because of the high discharge volumes provided by the Grijalva-Usumacinta system. The highest peaks of zooplankton were observed in November during the beginning of the summer storms. Nine groups of zooplankton were frequently observed to be abundant during the summer storm season, while five groups were abundant in the dry season. After the identification of the native zooplankton, the native copepods were isolated to establish culture protocols that could be used as live food in aquaculture. The sampling was done at the mouth of Mecoacán Lagoon, Paraíso, Tabasco. As a result of the collections, a species of Cyclopoid copepod determined as *A. panamensis* was isolated. Later, its temperature and optimal salinity of culture was evaluated using nauplii from the same cohort (24°C-28; 24°C-32; 24°C-36; 28°C-28; 28°C-32; 28°C-36; 32°C-28; 32°C-32; and 32°C-36), during 14 days and fed with *Tetraselmis chuii* at a density of 20,000 cel/mL. The factorial ANOVA indicated that temperature had a significant effect on total copepod abundance at day 14 of the experiment ( $p=0.02$ ), while salinity showed no significant effect ( $P = 0.06$ ) on the total population of *A. panamensis*. The highest population growth was recorded in the treatment 32°C-28, with a population of 1,380.95 ind L<sup>-1</sup> ( $\pm 1267.06$ ) and at the end of the experiment, the treatments 32°C-28 and 32°C-32 provided the best results. Finally, in the study of the life cycle of *A. panamensis* at 28°C and 28, it could be observed that it is completed in six days, going through six stages of nauplium and five stages of copepodite, to finally reach the adult stage. He maximum production that was reached to massively produce in tanks with a capacity of one thousand

liters was 11,600 Cop / L in a period of two months, in addition it was possible to establish a culture protocol for the isolated species.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## INDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
<b>CAPITULO I</b> .....	4
INTRODUCCIÓN .....	5
JUSTIFICACIÓN .....	7
ANTECEDENTES .....	8
OBJETIVOS .....	12
<b>CAPITULO II</b> .....	14
<b>CAPITULO III</b> .....	43
<b>CAPITULO IV</b> .....	63
<b>CAPITULO V</b> .....	85
<b>CAPITULO VI</b> .....	95
ANEXO 1 .....	116

## INTRODUCCIÓN GENERAL

La pesca y la acuicultura proporcionaron al mundo aproximadamente 128 millones de toneladas de productos pesqueros para el consumo humano y según datos del año 2011, la producción aumentó hasta alcanzar los 154 millones de toneladas, de los cuales 131 millones se destinaron para alimentos. Con el crecimiento mantenido de la producción acuícola y la mejora de los canales de repartición, el suministro mundial de alimentos pesqueros ha aumentado en las últimas décadas, con una tasa media de crecimiento del 3.2 % anual en el período de 1961 a 2009, superando el índice de crecimiento de la población mundial del 1.7 por ciento anual. El suministro mundial de peces comestibles per cápita aumentó desde un promedio de 9.9 kg (equivalente en peso vivo) en la década de 1960's hasta 18.4 kg en 2009. Las cifras para 2010 señalan que el consumo de pescado seguirá aumentando hasta alcanzar los 21.5 kg existiendo una demanda mayor de los recursos pesqueros, para el 2030, la acuicultura suministra el 53% del pescado que se emplea para el consumo humano (FAO, 2012, 2018).

La acuicultura constituye una opción más para ampliar la oferta alimentaria en las regiones del mundo, contribuyendo a la seguridad en los alimentos, generación de divisas y creación de empleos, estimulando el desarrollo regional en nuestro país el cultivo de peces marinos es una actividad relativamente nueva que ha sido limitado su crecimiento debido a la falta de información e insumos para su desarrollo, ya que no existe un abasto regular de semilla, lo que orilla a los productores a la captura de organismos juveniles y a la importación de huevo, por otro lado existe un desconocimiento de la biología de las especies sus requerimientos nutricionales y los aspectos físico-químicos del agua entre otros (FAO, 2005, INAPESCA, 2012).

En el medio acuático, la presencia de las especies depende del equilibrio establecido entre los distintos niveles de la cadena trófica. Asimismo, la supervivencia de los peces en fase larvaria depende de la presencia de organismos planctónicos quienes a su vez se producen en presencia de los nutrientes adecuados; de acuerdo a lo anterior, es importante conocer y manejar las diferentes técnicas de cultivo del alimento vivo para establecer las condiciones

más adecuadas, que permitan obtener alimentos de alto contenido nutricional, principalmente ricos en aminoácidos y ácidos grasos esenciales, que favorezcan el desarrollo y supervivencia de las diferentes especies de crustáceos, moluscos y peces que se obtienen por acuicultura (Torretera y Tacon, 1989).

Los organismos planctónicos son la base natural de la cadena alimenticia en los cuerpos de agua marinos y continentales, las algas son productores primarios por ser organismos fotosintéticos, y los organismos zooplanctónicos son consumidores primarios, el término plancton (del griego planktos: errante que deriva) comprende aquellos organismos cuya capacidad de movimiento es nula o baja, de manera tal que su distribución horizontal de mayor escala está determinada por los desplazamientos de las aguas en las que habitan, y no por su propia motilidad, es decir están a merced de las corrientes (Boltovskoy, 1981).

El uso de organismos zooplanctónicos en la acuicultura es imprescindible, destacando el uso de rotíferos y copépodos. Los órdenes de los copépodos más usados como alimento vivo son el Calanoida, Harpacticoida y Cyclopoida, habiéndose demostrado que incrementan la supervivencia y la calidad de las larvas que los consumen (Torretera y Tacon, 1989, Prieto, 2006, Stottrup, 2006) y más aún si se enriquecen con ácidos grasos esenciales (Lindley *et al.*, 2011), un ejemplo en el cultivo de pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) donde se utilizan copépodos, cladóceros y rotíferos en las primeras etapas de desarrollo (Berasain *et al.*, 2006). Existen muchas evidencias de que la ingesta de copépodos principalmente en su etapa de nauplio favorece el buen desarrollo de larvas de peces marinos como el lenguado (*Rhombosolea tapirina*), el barramundi (*Lates calcarifer*), y el huachinango (*Lutjanus campechanus*) (Marshall, 2002; Phelps *et al.*, 2005). Inclusive, los copépodos han sido probados como alimento vivo con éxito en los Centropómidos con la finalidad de mejorar su dieta y disminuir el uso del alimento convencional (Pais de Lira 2002; Vanacor-Barroso *et al.*, 2017).

En el cultivo de robalos del género *Centropomus* se han hecho esfuerzos en pro de la reproducción en cautiverio, los estudios van desde la inducción al desove, evaluación del crecimiento en cautiverio, reversión sexual y desarrollo embrionario. Las especies que más

han sido estudiadas son el robalo blanco (*C. undecimalis*), el robalo prieto (*C. poeyi*), el robalo chucumite (*C. parallelus*) y el robalo de espolón (*C. ensiferus*) (Wittenrich *et al.*, 2009; López *et al.*, 2012; Contreras-García *et al.*, 2014; Contreras-García *et al.*, 2015; Gassman *et al.*, 2017). Sin embargo, los esfuerzos para reproducir crías de robalo en cautiverio han enfrentado algunos problemas, por lo que resulta difícil mantener las larvas vivas que se obtienen en los desoves inducidos. La transición de alimentación endógena a exógena es considerada como la causa principal de mortalidad en el cultivo de estas especies. Debido a esto, en la presente investigación se plantea evaluar la importancia de los copépodos en zonas de desove de robalos ubicados en las costas de Tabasco en el golfo de México, así como el potencial productivo como alimento vivo de la especie de copépodo nativo más resistente al manejo en cautiverio (*Apocyclops panamensis*).

Para lograr los objetivos planteados, se inició un estudio para identificar las dinámicas zooplanctónicas en una zona de desove de robalos ubicada en las costas del estado de Tabasco. Posteriormente se procedió a recolectar los organismos más abundantes, aislándose dos especies de copépodos resistentes al manejo y con un crecimiento poblacional destacado (*Apocyclops panamensis* y *Halicyclops* sp). Con base en su alta productividad y fácil manejo, se decidió experimentar con *A. panamensis*, llevándose a cabo la descripción de su ciclo de vida y la evaluación de diferentes condiciones de temperatura y salinidad.

Con los resultados de esta investigación se han dado pasos seguros hacia la incorporación de *A. panamensis* dentro de las opciones alimenticias durante la larvicultura de robalos en cautiverio.

**CAPITULO I**

**PROTOCOLO DE TESIS**

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## INTRODUCCIÓN

La pesca y la acuicultura proporcionaron al mundo aproximadamente 128 millones de toneladas de productos pesqueros para el consumo humano y según datos del año 2011, la producción aumentó hasta alcanzar los 154 millones de toneladas, de los cuales 131 millones se destinaron para alimentos. Con el crecimiento mantenido de la producción acuícola y la mejora de los canales de repartición, el suministro mundial de alimentos pesqueros ha aumentado en las últimas décadas, con una tasa media de crecimiento del 3.2 % anual en el período de 1961 a 2009, superando el índice de crecimiento de la población mundial del 1.7 por ciento anual. El suministro mundial de peces comestibles per cápita aumentó desde un promedio de 9.9 kg (equivalente en peso vivo) en la década de 1960's hasta 18.4 kg en 2009. Las cifras para 2010 señalan que el consumo de pescado seguirá aumentando hasta alcanzar los 21.5 kg existiendo una demanda mayor de los recursos pesqueros, para el 2030, la acuicultura suministra el 53% del pescado que se emplea para el consumo humano (FAO, 2012, 2018).

La acuicultura constituye una opción más para ampliar la oferta alimentaria en las regiones del mundo, contribuyendo a la seguridad en los alimentos, generación de divisas y creación de empleos, estimulando el desarrollo regional en nuestro país el cultivo de peces marinos es una actividad relativamente nueva que ha sido limitado su crecimiento debido a la falta de información e insumos para su desarrollo, ya que no existe un abasto regular de semilla, lo que orilla a los productores a la captura de organismos juveniles y a la importación de huevo, por otro lado existe un desconocimiento de la biología de las especies sus requerimientos nutricionales y los aspectos físico-químicos del agua entre otros (FAO, 2005, INAPESCA, 2012).

En el medio acuático, la presencia de las especies depende del equilibrio establecido entre los distintos niveles de la cadena trófica. Asimismo, la supervivencia de los peces en fase larvaria depende de la presencia de organismos planctónicos quienes a su vez se producen en presencia de los nutrientes adecuados; de acuerdo a lo anterior, es importante conocer y manejar las diferentes técnicas de cultivo del alimento vivo para establecer las condiciones más adecuadas, que permitan obtener alimentos de alto contenido nutricional, principalmente



ricos en aminoácidos y ácidos grasos esenciales, que favorezcan el desarrollo y supervivencia de las diferentes especies de crustáceos, moluscos y peces que se obtienen por acuicultura (Torretera y Tacon, 1989).

Los organismos planctónicos son la base de la cadena alimenticia en los cuerpos de agua marinos y continentales, las algas son productores primarios por ser organismos fotosintéticos y los organismos zooplanctónicos son consumidores primarios, el término plancton (del griego planktos: errante que deriva) comprende aquellos organismos cuya capacidad de movimiento es nula o baja, de manera tal que su distribución horizontal de mayor escala está determinada por los desplazamientos de las aguas en las que habitan, y no por su propia motilidad, es decir están a merced de las corrientes (Boltovskoy, 1981).

El uso de organismos zooplanctónicos en la acuicultura es imprescindible, entre los que destaca el uso de rotíferos y copépodos, habiéndose demostrado que incrementan la supervivencia y calidad de las larvas que los consumen (Torretera y Tacon, 1989, Prieto, 2006) como por ejemplo en el cultivo de pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) se utilizan copépodos, cladóceros y rotíferos en las primeras etapas de desarrollo (Berasain *et al.*, 2006).

En el cultivo de robalo se han hecho esfuerzos en pro de la reproducción en cautiverio sin embargo (Wittenrich *et al.*, 2009, Contreras-García *et al.*, 2011) mencionan los esfuerzos para reproducir crías de robalo en cautiverio, enfrentando algunos problemas, por lo difícil que resulta mantener las larvas vivas que se obtienen y la transición de alimentación endógena a exógena es considerada como la causa de mortalidad en el cultivo de especies marinas entre otras.

En este sentido se plantea el uso de organismos zooplanctónicos nativos como alimento vivo peces marinos en los primeros estadios larvarios a partir de conocer las preferencias alimenticias de larvas de especies comerciales de importancia en acuicultura.

## JUSTIFICACIÓN

Algunos peces marinos como el robalo, tienen gran importancia deportiva, comercial y además son soporte de pesquerías artesanales en numerosas comunidades en el golfo de México. Se considera a los Centropomidae como peces importantes para los pescadores debido al ingreso económico que se puede generar por su comercialización, en la actualidad es un recurso explotado al máximo sustentable (DOF, 2018); por esta razón se considera imperativo generar información para la reproducción en condiciones de cautiverio (Contreras-García *et al.*, 2011; Caballero, 2012). Al respecto, existe un cuello de botella en la etapa larvaria del robalo como en otras especies de peces marinos, en la que existe una gran mortandad. Entre las posibles causas se ha propuesto la ausencia de un organismo empleado como alimento de talla adecuada, o porque los alimentos empleados no contienen los nutrientes necesarios que las especies requieren para su crecimiento óptimo. El alimento vivo es una alternativa de solución a esta problemática debido a que puede ser susceptible de ser modificado en su contenido nutritivo (Castro, 2003). La demanda cada vez mayor de los recursos acuáticos, obliga a pensar que la acuicultura es una de las mejores alternativas para contrarrestar la presión de los recursos pesqueros, el cultivo de alimento vivo es indispensable en los primeros estadios larvarios de peces marinos por lo que es necesario buscar organismos susceptibles de ser usados como alimento en las primeras etapas de su desarrollo.

El uso de organismos zooplanctónicos en la acuicultura es imprescindible, entre los que destaca el uso de copépodos, rotíferos y *Artemia*, habiéndose demostrado que incrementan la supervivencia de las larvas que los consumen. Con la generación de protocolos de cultivos se pretende diversificar la cantidad, calidad y presas de diferentes tamaños para ser usadas en la etapa larvaria de los Centropomidae y otros peces marinos de importancia comercial. En este sentido, con la generación de protocolos de cultivo de zooplancton nativo se puede contribuir a aumentar la sobrevivencia de los Centropómidos en su etapa larvaria.

## ANTECEDENTES

### **Copépodos como alimento vivo**

Los copépodos representan uno de los principales recursos en la alimentación de peces marinos ya que son parte del alimento natural en su medio silvestre (Ortner *et al.*, 1989; Denis *et al.*, 2016). Estos microcrustáceos tienen un alto valor nutricional, los patrones de movimiento provocan una fuerte respuesta a la alimentación en larvas, presentan alta digestibilidad y talla pequeña (Gutiérrez, 2006; Prieto y Atencio 2008). Todas las especies de peces que se han cultivado con copépodos como sustitutos de las presas convencionales han mostrado incremento en el crecimiento y sobrevivencia, los copépodos se pueden cultivar en altas densidades en pequeños volúmenes, e inclusive muchos pueden consumir alimentos inertes (Stttrup, 2006; Prieto *et al.*, 2006; Schipp 2006; Vanacor-Barroso *et al.*, 2017). Aunque generalmente este tipo de alimento se obtiene de un monocultivo, se ha observado que cultivados en conjunto con diferentes especies de microalgas, rotíferos y otros microorganismos en sistemas denominados mesocosmos, los resultados pueden ser mejores (Prieto *et al.*, 2006),

Por su parte Schipp (2006) menciona los beneficios del uso de copépodos en la acuicultura; valor nutricional superior, patrones de movimiento que provocan una fuerte respuesta a la alimentación en larvas de peces, alta digestibilidad, talla pequeña y el simple hecho, de que son parte del alimento natural de la larva en su medio silvestre. Todas las especies de peces que se han cultivado con sustitutos de otra presa viva han mostrado incremento en el crecimiento y sobrevivencia. Prieto *et al.*, (2006) encontraron que los copépodos cultivados en conjunto con diferentes especies de microalgas, rotíferos y otros microorganismos en sistemas de mesocosmos, son importantes porque ellos son una de las fuentes de alimento vivo más importantes para la acuicultura marina, demostrando que aumentan la supervivencia de las larvas. Por otro lado, Stottrup (2006), describe los ordenes, Calanoida, Harpacticoida y Cyclopoida usados en la acuicultura como alimento para larvas de peces marinos, siendo el grupo de los Calanoides que más especies se conocen y son más fáciles de identificar, por lo tanto, al aislarlos de la naturaleza requieren fitoplancton como alimento, la hembra llevan sus huevos individualmente. Los Harpacticoides son generalmente pastoreadores bénticos pueden ser mantenidos en altas densidades y en volúmenes pequeños,

requieren un área superficial en la que se pueden colocar estructuras en el tanque. Sin embargo, esto puede complicar el método de limpieza de los tanques y así mantener la higiene, los Harpacticoida no requieren fitoplancton y pueden alimentarse de alimento inerte. Los Cyclopoida y Harpacticoida pueden ser mantenidos en altas densidades y son relativamente fáciles de cultivar. Berasain *et al.*, (2006) enfatizaron la importancia del uso de copépodos, cladóceros y rotíferos en el cultivo de pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) en Sudamérica, estos se utilizan en las primeras etapas de desarrollo de este pez.

Prieto y Atencio (2008) mencionan que la larvicultura de peces neotropicales presenta limitaciones para el manejo de la primera alimentación dado el pobre desarrollo del aparato digestivo y su capacidad natatoria. La alimentación de la larva debe considerar el tamaño, densidad y calidad de la presa ofrecida. En el estudio abordan la importancia de la larvicultura además el uso del zooplancton como alimento vivo y las alternativas en el manejo de cladóceros, copépodos y rotíferos para la alimentación de larvas de especies neotropicales. Por otro lado, Puello-Cruz *et al.*, (2008) presentan alternativas confiables de producción de alimento vivo empleando copépodos, uno con hábitos bentónicos (*Tisbe monozota*) y otro con hábitos pelágicos (*Pseudodiaptomus euryhalinus*). Ambas especies mostraron valores superiores en contenido proteico y de lípidos totales que el alimento vivo empleado rutinariamente para larvicultura (*Artemia* y rotíferos enriquecidos). Así mismo, presentan gran adaptabilidad a condiciones controladas de cultivo, toleran el manejo, presentan ciclos de vida cortos, gran producción de huevos, elevada fecundidad, eclosión y supervivencia, produciendo entre 1.46 y 3.93 organismos ml<sup>-1</sup>.

### **La nutrición en el larvicultivo**

Castro *et al.*, (2003) destacan la importancia del uso del alimento vivo en la acuicultura y un aspecto importante a considerar es la nutrición, ya que con frecuencia se observa que los alimentos empleados no contienen los nutrientes que las especies requieren para su crecimiento óptimo, principalmente en sus primeras etapas de vida, que es la crítica en todas las especies donde se puede presentar la mayor mortalidad. En la acuicultura, a nivel mundial, se utilizan alimentos inertes con ingredientes nutritivos bien balanceados; pero también existe la posibilidad de utilizar organismos vivos, susceptibles de ser modificados en su

contenido nutritivo. Dentro de estos organismos vivos están las microalgas (fitoplancton), organismos zooplanctónicos de tamaños microscópicos, como son los rotíferos, pulgas de agua, copépodos, nauplios del crustáceo *Artemia*; y otras especies de invertebrados, como las larvas de *Tenebrio* (gusano de harina), del gusano de fango *Tubifex* sp., o del nematodo *Panagrellus* sp. Otros organismos usados como alimento vivo son las pupas o larvas de mosca de la fruta, las lombrices de tierra y pequeños peces conocidos como forrajeros.

### **Estudios en Centropómidos**

Temple *et al.*, (2004) probaron el efecto de la reducción de presas en el comportamiento, crecimiento y sobrevivencia del robalo chucumite (*Centropomus parallelus*). Se emplearon larvas cuando iniciaba su metamorfosis (16 días) en cuatro densidades de presas 5, 10, 20 y 30 rotíferos/mL, obteniendo que la sobrevivencia fue alta en todos los tratamientos, pero más alta (38.8%) en la de 5 presas/mL. Se encontró que las larvas de robalo pasan la mayor parte tiempo sin nadar o marcado por una natación ocasional usualmente dirigida hacia la presa. El rango de crecimiento de presas probado no tuvo efecto significativo en el crecimiento y sobrevivencia, la reducción de 5 rotíferos/mL durante el periodo larval puede no afectar la producción de juveniles y sería más rentable.

Wittenrich *et al.*, (2009) estudiaron la relación entre el desarrollo osteológico, el aparato bucal y el rendimiento de la alimentación del robalo blanco (*Centropomus undecimalis*). Los resultados revelaron que la primera alimentación de la larva exhibió elementos esqueléticos rudimentarios y la larva seleccionó uno o dos de los tipos de presas disponibles. Alrededor de los ocho días después de la eclosión, se observó un cambio en la dieta con preferencia por los rotíferos, lo que sugiere que las altas tasas de mortalidad observadas en los sistemas de cultivo cerrados pueden atribuirse a la ausencia de un alimento pequeño. Destacando que en las primeras etapas de desarrollo la larva presenta un aparato digestivo poco desarrollado pudiendo limitar su capacidad de consumir una presa escurridiza.

Lorán *et al.*, (2012) evaluaron la reproducción y madurez sexual del robalo prieto (*C. poeyi*) y el robalo blanco (*C. undecimalis*) en un sistema lagunar y obteniendo como resultado que el periodo de reproducción del robalo prieto fue de junio a agosto durante los tres años, en

2005 y 2006 el pico máximo fue en julio, mientras que en 2007 fue en agosto; en las hembras de robalo blanco fue de junio a agosto, con un máximo en julio en los tres años, La talla de madurez sexual a 50% (Lm) considerando los estadios IV, V y VI: para hembras de robalo prieto fue 78.9 cm y en robalo blanco 81.6 cm de longitud total. La hembra más pequeña con madurez IV de robalo prieto midió 50 cm, y robalo blanco 60 cm y se concluye que el periodo de reproducción para ambas especies es similar.

Contreras-García *et al.*, (2011) midieron la calidad espermática de machos adultos de robalo chucumite (*C. parallelus*) implantados con GnRH-a, se evaluó la cualidad de fluidez del semen, motilidad en segundos, tipo de movimiento, tipo de células activas y el número de espermatozoides por volumen. Los resultados indicaron que no existe diferencia significativa en el factor dosis en el número de espermatozoides/mL ni en la motilidad en segundos.

Vanacor-Barroso *et al.*, (2017) El copépodo *Acartia tonsa* se evaluó como primera alimentación en larvas de (*C. parallelus*) usándola de los días 15 al 45 y como resultado de los experimentos se concluye que la inclusión de copépodos no mejora la sobrevivencia y crecimiento. Sin embargo, en uno de los experimentos se registraron larvas con altos valores de DHA/EPA concluyendo que *A. tonsa* provee un importante beneficio nutricional a las larvas y su metamorfosis

### **Hipótesis de trabajo**

En el cultivo de peces marinos en cautiverio como los Centropómidos existe un cuello de botella que se ve reflejado en una alta mortalidad en los primeros estadios larvarios, debido a un aparato bucal poco desarrollado, la transición de alimentación endógena a exógena, la falta de una presa de tamaño adecuado entre otras.

Considerando que hay un uso comercial de organismos zooplanctónicos exóticos con buenos resultados en la supervivencia de las larvas de peces nativos del golfo de México, el uso de organismos zooplanctónicos recolectados en las mismas áreas de desove de estas especies y cultivados a escala piloto, incrementarán la supervivencia y la calidad de las larvas, pues

constituyen el mismo tipo de alimento que se localiza durante su etapa larval en la costa de Tabasco. Por ello, se considera factible identificar, aislar y producir en condiciones controladas especies del zooplancton nativo que puedan ser incluidas en prácticas acuiculturales con especies marinas.

## **OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo general**

Identificar, aislar y desarrollar métodos de incorporación de zooplancton nativo en sistemas acuícolas de producción.

### **4.2. Objetivos específicos**

- Identificar la comunidad zooplanctónica en zonas de desove de los Centropómidos en las costas de Tabasco.
- Identificar especies de zooplancton marino con potencial para emplearse en la larvicultura de Centropómidos
- Aislar y realizar cultivos experimentales de especies de zooplancton marino con potencial en larvicultura de Centropómidos
- Implementar cultivos a escala piloto de zooplancton con potencial en larvicultura de Centropómidos
- Elaborar un protocolo de producción masiva de especies nativas de zooplancton

### **Área de estudio**

El área de estudio se encuentra en los sitios de desove del robalo blanco reportados previamente por Hernández-Vidal *et al.* (2014). Cerca de la desembocadura del río González, Centla, Tabasco. Los sitios fueron marcados y tres seleccionados: el primer sitio fue en el área de captura de los pescadores a 0.3 km de distancia de la línea de costa (18°26'4.10"N y 92°59'47.60"O), el segundo sitio fue entre el área de captura y la línea de costa (18°26'59.16"N y 92°59'59.51"O) a una distancia aproximada de 2 km de la costa y el tercero

frente a la línea de costa y a una distancia de 3 km ( $18^{\circ}27'30.71''\text{N}$  y  $93^{\circ}0'5.94''\text{O}$ ) (Figura 1).

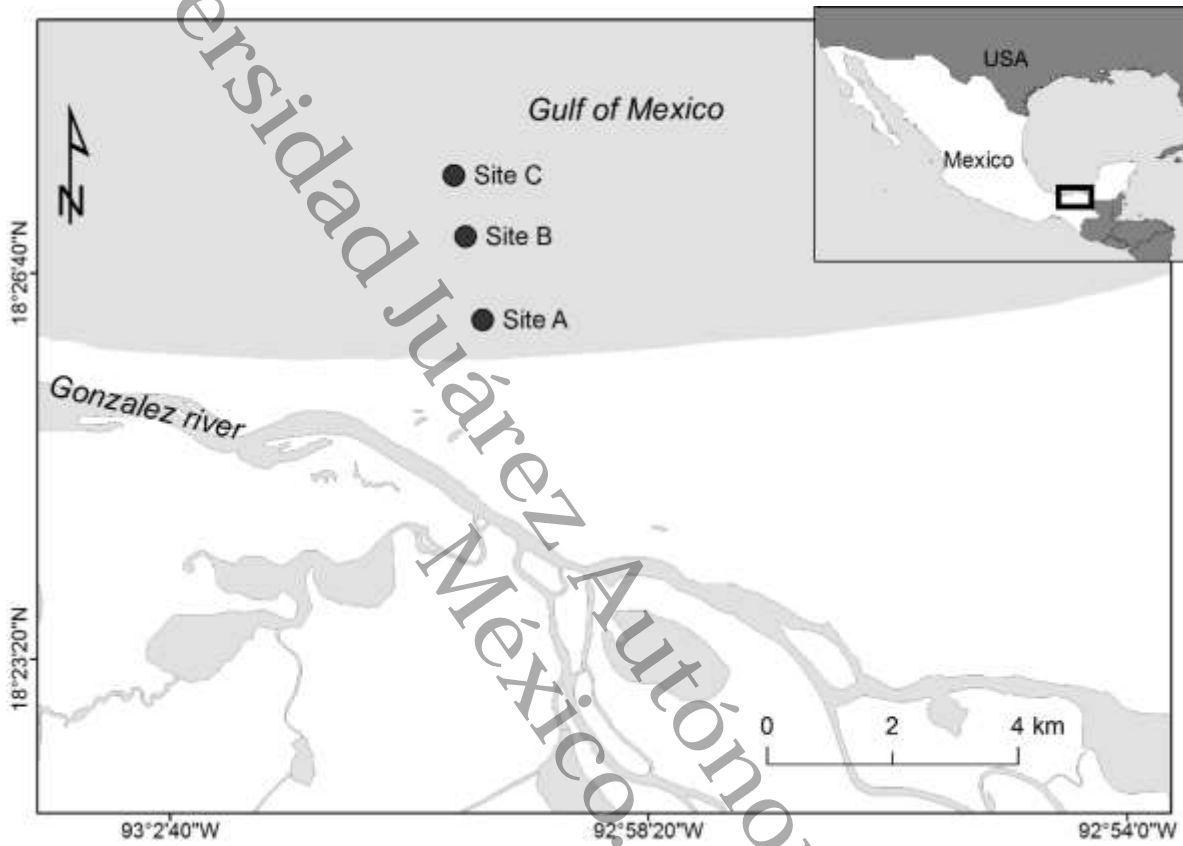


Figura 1. Área de estudio que muestra la ubicación de los tres sitios de muestreo, conocidos por los pescadores locales como sitios de desove de róbalo en la plataforma continental de Tabasco, México.



## CAPITULO II

### ARTÍCULO CIENTÍFICO

#### **Seasonal variability of near-surface zooplankton community structure in the Southern Gulf of Mexico**

Enviado y aceptado en la revista Latin American Journal of Aquatic Research (LAJAR).

**Cruz-Rosado, L., Contreras-Sánchez, W., Hernández-Vidal, U., Gómez-Gutiérrez, J., Contreras-García, M., & Mcdonal-Vera, A. (2020). Seasonal variability of near-surface zooplankton community structure in the southern Gulf of Mexico. Latin American Journal of Aquatic Research, 48(4), 649-661. doi:<http://dx.doi.org/10.3856/vol48-issue4-fulltext-2503>**

## Seasonal variability of near-surface zooplankton community structure in the southern Gulf of Mexico

Leonardo Cruz-Rosado<sup>1</sup>, Wilfrido M. Contreras-Sánchez<sup>1</sup>, Ulises Hernández-Vidal<sup>1</sup>, Jaime Gómez-Gutiérrez<sup>2</sup>, María de Jesús Contreras-García<sup>1</sup> & Alejandro McDonal-Vera<sup>1</sup>

<sup>1</sup>División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
Villahermosa, Tabasco, Mexico

<sup>2</sup>Departamento de Plancton y Ecología Marina, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Baja California Sur, Mexico

Corresponding author: Wilfrido M. Contreras-Sánchez (contrerw@hotmail.com)

**ABSTRACT.** The zooplankton taxonomic group composition was analyzed in a known spawning area for snooks of the family Centropomidae during March 2011-February 2012 near the mouth of the González River, a tributary of the Grijalva-Usumacinta River system, discharging into the southern Gulf of Mexico. Zooplankton was collected near the surface using three distinct zooplankton nets (20, 64, and 120  $\mu\text{m}$ ). Sixteen zooplankton taxonomic groups were collected between the three nets. Copepoda (76.9%), Trematoda (6.7%), Bivalvia (4.6%), and Chaetognatha (Sagittoidea, 4.3%) numerically dominated zooplankton community structure. The 120 and 64  $\mu\text{m}$  nets collected the highest diversity of zooplankton (15 taxa). Zooplankton was more abundant during Jun-Oct (summer storm season) associated with lower salinities (due to the increase in the discharge volume of the Grijalva-Usumacinta River system) and higher regional primary productivity than observed during the rest of the year (Mar-May, dry season and Nov-Feb winter storm season). The highest peak of zooplankton abundance was observed in November during the beginning of winter storms. Nine taxonomic groups were observed frequently and abundantly during the summer storm season, while only five taxonomic groups were abundant during the dry season.

**Keywords:** zooplankton; abundance; seasonal variability; Gulf of Mexico

## INTRODUCTION

Planktonic organisms constitute the base for most trophic connections in marine ecosystems. Space-time availability of zooplankton is essential for the survival of fish larvae that prey on them during the critical period of early development after depleting their yolk sac and when exogenous food must be ingested before reach the period-of-no-return (Yúfera & Darias, 2007). Zooplankton productivity and biomass strongly influence fish population recruitment and frequently delimit the reproductive periods and species reproductive behavior, including species targeted for regional fishery activities (Conde-Porcuna *et al.*, 2004; Álvarez-Fernández *et al.*, 2015; Jackson & Lenz, 2016). Several fish species tend to synchronize their reproductive spawning events with periods with high zooplankton abundance, because fish larvae prey on dinoflagellates, invertebrate eggs, and copepods (Phelps *et al.*, 2005; Álvarez-Fernández *et al.*, 2015) promoting high survival of fish larvae (Alvariño, 1980; Sherman *et al.*, 1984). Fish larvae of several marine species prefer to prey on small zooplankton because of their small mouth size and still limited swimming capabilities (Purcell & Grover, 1990; Støttrup, 2006; Puello-Cruz *et al.*, 2008).

The Mississippi and the Grijalva-Usumacinta rivers are the main freshwater discharges on the Gulf of Mexico. Other minor contributions are San Pedro, San Pablo, and Coatzacoalcos rivers. All these rivers significantly influence the ecological dynamics of the coastal habitats (Monreal-Gomez & Salas-de León, 2004). The river plumes promote higher primary production that contributes to the sustainment of cost-effective fisheries within the region (Botello, 2005). Significant river plume nutrient-inputs in the Gulf of Mexico occur during the rainy season (Jun-Oct) increasing, with some lag, zooplankton abundance (Contreras-Espinoza, 2016). This seasonal nourishment process coincides with the vast abundance of fish larvae along the littoral zone of the Gulf of Mexico (Hopkins, 1982; Ortner *et al.*, 1989; Flores-Coto *et al.*, 2009).

In the southern Gulf of Mexico sub-region, the Usumacinta-Grijalva River system has water discharges between 3000 and 4400 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (Yáñez-Arancibia & Day, 2004). This freshwater discharge provides a large load of sediments and nutrients to the southern region of the Gulf of Mexico, particularly during the discharge peaks (Sep-Oct) (West *et al.*, 1985). The high nutrient availability could promote massive planktonic blooms that represent available prey for fish larvae and juveniles. However, the taxonomic group composition and seasonal patterns of the zooplanktonic community in the southern

Gulf of Mexico have not been studied yet. We investigated the fluctuations of the major zooplankton taxonomic groups collected near the González River mouth -a distributary of the Grijalva-Usumacinta River system- that is an area considered by the local anglers as a snook spawning ground. We investigate the surface sea layer because regionally is where food particles exist in high concentrations, making it the most productive stratum in the epipelagic ecosystem, where exists most of the trophic interactions (Espinosa-Fuentes *et al.*, 2009).

## MATERIALS AND METHODS

Monthly zooplankton samplings were collected from March 2011 to February 2012 near the area of influence of the González River, as part of the Grijalva-Usumacinta River system. Zooplankton was collected near the surface (2-3 m depth) from three sites located in a spawning ground identified by local anglers and reported for two snook species: *Centropomus undecimalis* and *Centropomus parallelus* (Hernández-Vidal *et al.*, 2014). These three sampling sites were located at: site A, 18°26'4.10"N 92°59'47.60"W (7.0-8.0 m depth); site B, 18°26'59.16"N, 92°59'59.51"W (7.5-9.0 m depth); and site C, 18°27'30.71"N, 93°00'5.94"W (8.0-10.0 m depth) (Fig. 1). Further statistical analysis showed no significant differences in zooplankton abundance and taxonomic group composition among sampling sites; therefore, each sampling station was considered as replicate for the entire sampled area.

### Environmental variables and zooplankton sampling

Seawater was collected between 1-2 m depth using a Vann Dorn bottle (WildCo, EUA) at each sampling site to measure sea surface temperature (°C), salinity, and dissolved oxygen concentration (DO, mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>). Temperature and DO were measured using a calibrated multisensor (YSI 55<sup>TM</sup>, Yellow Springs, OH, USA). Salinity (±1.0) was measured with a Bio-Marine Inc. Aquafauna<sup>TM</sup> refractometer (Hawthorne, CA, USA). Sea surface chlorophyll-*a* (mg Chl-*a* m<sup>-3</sup>) was obtained from MODIS-Aqua NASA satellite images (five-day averages), sea surface temperature (SST, °C) data were obtained from MODIS-Terra-MODIS-Aqua satellite website (<https://podaac.jpl.nasa.gov/dataaccess>). Monthly rainfall (mm month<sup>-1</sup>) was obtained from the Comisión Nacional del Agua (México) (CONAGUA) (<https://sih.conagua.gob.mx/>) station No. 27034 located 22 km southwest from the present area of study (18°23'44.00"N, 93°12'43.99"W). The southern subregion of the Gulf of Mexico has three climatic

seasons: dry, summer storms, and winter storms (Yáñez-Arancibia & Day, 2004). During the dry season (DS: March-May) SE winds prevail, with a mean air temperature of 28.1°C, and mean rainfall of 164.8 mm month<sup>-1</sup>. During the summer storm season (SSS: June-October) SE winds still prevail, and there is a similar mean air temperature of 28.3°C, but mean rainfall increases almost five times (976.7 mm month<sup>-1</sup>). During the winter storm season (WSS: November-February) North winds occur frequently (regionally known as “nortes” in Spanish) with an average air temperature of 24.4°C and mean precipitation of 345.6 mm month<sup>-1</sup> (Ayala-Pérez *et al.*, 2012). An analysis of the last five years (2015-2019) of Chl-*a* data obtained by the MODIS-Aqua NASA satellite indicate that the highest mean values correspond to the WSS (3.52) with a very distinctive peak during November (4.00); compared to mean values from the DS (2.56) and the SSS (2.73) coinciding with information reported at the nearby Terminos Lagoon by Yáñez-Arancibia & Day (1988) and Herrera-Silveira *et al.* (2019).

Zooplankton was collected during daytime every month using three simple, conical plankton nets, each one with a diameter of 30 cm and a length of 60 cm, but distinct mesh sizes: 20, 64, and 120 µm. Nets were towed near the surface for 5 min while the boat was underway at 2.5 km h<sup>-1</sup>. Plankton samples were preserved in 4% buffered formalin. A total of 108 zooplankton samples were collected from March 2011 to February 2012. Zooplankton abundance was standardized to the number of individuals per 100 m<sup>3</sup> (ind 100 m<sup>-3</sup>). The identification of each zooplankton species in a diverse zooplankton community is complex and time-consuming. Therefore, zooplankton was here identified to taxonomic levels higher than suborder to evaluate zooplankton seasonal changes through an annual cycle using four zooplankton taxonomic keys (Smith, 1977; Boltovskoy, 1981; Báez, 1997; Perry, 2003). The names utilized for these taxa follow the World Register of Marine Species (WoRMS) database (<http://www.marinespecies.org/>). Three different groups were identified based on their frequency of capture of each zooplankton taxonomic group: highly frequent (>9 months); moderately frequent (5-8 months), and low frequent (<4 months).

### **Data analysis**

The statistical significance of differences between the community taxonomic composition and abundance of zooplankton among the three climatic seasons and the three mesh sizes was evaluated using Multi-Response Permutation Procedure (MRPP). The MRPP is a nonparametric multivariate procedure for

testing the hypothesis of no differences between *a priori* classified groups (McCune & Mefford, 2002). The Sorensen (Bray-Curtis) distance measure was chosen in the MRPP analyses because it retains sensitivity in heterogeneous data sets and gives less weight to outlier abundance values.

A canonical correspondence analysis (CCA) was conducted to infer how the zooplankton community structure was associated with the multi-dimensional gradients of the five environmental variables: sea surface temperature, salinity, satellite sea surface chlorophyll-*a* concentration, dissolved oxygen concentration, and monthly rainfall. Zooplankton abundance was log (x+1) transformed as to linearize the species matrix, and data of the five environmental variables were transformed to generalized relativization per column to give the five variables comparable weight (Ter Braak & Verdonschot, 1995; McCune & Mefford, 2002). Data matrices were organized using the Excel software, and statistical data analyses were performed using PC-ORD Multivariate Analysis of Ecological Data v6.0 software (MjM Software design) (McCune & Mefford, 2002). Graphic representation of the data was done using the software SigmaPlot® v14.

## RESULTS

### Environmental conditions

Sea surface temperature varied from 24.4°C in March to 28.7°C in September with the highest mean value obtained during the SSS ( $27.75 \pm 1.01^\circ\text{C}$ ). The lowest mean values were recorded during the DS. Salinity varied from 30.22 in September to 34.45 in July with the highest mean during the SSS ( $32.63 \pm 2.35$ ). Dissolved oxygen concentration was higher during the WSS with a mean value of  $8.01 \pm 1.27 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ , with a range of  $4.75 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$  in July and  $8.68 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$  in February (Table 1). Monthly cumulative rainfall was zero in April, and the highest rainfall was  $468.20 \text{ mm month}^{-1}$  in October. Mean cumulative rainfall was five-fold higher during the summer storms season ( $206.30 \pm 146.20 \text{ mm month}^{-1}$ ) than during the other two seasons. Satellite sea surface Chl-*a* concentration ranged from  $0.75 \text{ mg Chl-}a \text{ m}^{-3}$  in February to  $5.17 \text{ mg Chl-}a \text{ m}^{-3}$  in September being slightly higher during WSS ( $3.24 \pm 2.26 \text{ mg Chl-}a \text{ m}^{-3}$ ). Higher rainfall occurred from September to November coinciding with high concentrations of sea surface Chl-*a* and high values of SST (Table 1).

### Identified zooplankton taxonomic groups

Sixteen zooplankton taxonomic groups were identified from the 108 zooplankton samples collected between March 2011 and February 2012 (Table 2). Zooplankton included nine classes (Actinopterygii, Appendicularia, Bivalvia, Echinodermata, Euphausiacea, Hydrozoa, Insecta, Sagittoidea, and Trematoda) one subclass (Copepoda), four orders (Amphipoda, Decapoda, Gastropoda, and Stomatopoda), and two suborders (Cladocera and Polychaeta) with clearly distinct morphological and life strategy zooplankton taxonomic groups. Fish eggs and larvae abundance were combined as ichthyoplankton (Class Actinopterygii) for statistical analyses.

### **Annual relative abundance for all three types of mesh size**

Out of the 16 zooplankton taxonomic groups, 15 were collected with the 120  $\mu\text{m}$  and 64  $\mu\text{m}$  plankton mesh size nets and only 13 taxa with the 20  $\mu\text{m}$  mesh size net; this difference is caused by absence of Stomatopoda, Hydrozoa, and Amphipoda in the latter. Ichthyoplankton was absent from the 64  $\mu\text{m}$  net and Amphipoda from the 120  $\mu\text{m}$  net. Copepods dominated the relative monthly abundance in all the zooplankton sampling nets (73.7-79.8%) (Table 2, Fig. 2). The taxonomic groups that followed copepods in abundance for all nets were Trematoda (4.2-9.1%), Bivalvia (2.5-6.2%), Sagittoidea (3.8-5.14%); however, their relative abundances were much smaller than copepods. Ichthyoplankton was captured with the 120 and 20  $\mu\text{m}$  nets (Table 2). The rest of the taxonomic groups collected typically summed <2% in each net (Table 2, Fig. 2).

### **Seasonal variation in zooplankton taxonomic composition**

The identification of zooplankton taxonomic groups based on their frequency of capture indicated that Copepoda, Decapoda, Sagittoidea, and Trematoda were highly frequent; Bivalvia, Cladocera, and Polychaeta were moderately frequent; and Appendicularia, Amphipoda, Echinodermata, Euphausiacea, Gastropoda, Hydrozoa, Ichthyoplankton, Insecta, and Stomatopoda were low frequent (Table 2).

Combining zooplankton abundance of the three sampling sites and the three mesh sizes showed zooplankton abundances had the maximum abundance during November ( $303.21 \pm 152.76$  thousands of individuals per 100  $\text{m}^3$ ; median  $\pm$  Interquartile Range). The lowest abundances were observed during

February ( $53.70 \pm 116.95$ ) and March ( $48.46 \pm 22.92$ ) (Fig. 3). During May and September, high values were also observed ( $216.11 \pm 171.58$  and  $183.37 \pm 250.16$ , respectively).

The analysis of the zooplankton abundance showed higher zooplankton abundance during the summer storms season than during dry and winter storm seasons (these two with similar magnitude of zooplankton abundance) (Fig. 4a). Copepod abundance accounted for >70%, mostly driving monthly total zooplankton abundance patterns throughout the year (Fig 4b). Nine taxonomic groups were observed frequently and abundantly during the summer season, while only five zooplankton taxonomic groups were abundant during the dry season. Bivalvia, Cladocera, Sagittoidea, and Trematoda abundance showed a similar seasonal trend throughout the year (Fig. 4c-f), whereas Decapoda and Polychaeta were more abundant during the dry season than during the rest of the year (Fig. 4g-h). During summer and the beginning of winter storm seasons (July-November), the higher values for SST, salinity, and rainfall coincided with high values of zooplankton abundance. The highest abundance of zooplankton that occurred during November was preceded by two months of high sea surface Chl-*a* concentrations which progressively decreased in December.

### **Zooplankton community assemblage**

Zooplankton abundance and community taxonomic structure showed statistically significant differences among the three climatic seasons (MRPP analysis,  $A = 0.018$ ,  $P < 0.05$ ). Zooplankton abundance was significantly higher during the summer storm season than during dry season ( $P = 0.04$ ) and winter storm seasons ( $P = 0.001$ ). However, zooplankton abundance was not significantly different between the dry and winter rainfall season (MRPP;  $P = 0.50$ ). Zooplankton had significant differences in abundance among taxonomic groups from samples collected using different plankton mesh net sizes (MRPP;  $A = 0.02$ ,  $P = 0.04$ ). The smaller zooplankton (captured in the 20  $\mu\text{m}$  mesh size) was significantly less abundant (by several orders of magnitude) and diverse than zooplankton samples collected with the other two plankton net mesh sizes (64  $\mu\text{m}$   $P < 0.001$  and 120  $\mu\text{m}$   $P = 0.004$ ). Zooplankton groups collected with the 64 and 120  $\mu\text{m}$  mesh size nets were practically identical (MRPP,  $P = 0.99$ ). Zooplankton community structure and abundance showed no significant statistical differences among the three sampling sites located close to each other over the continental shelf (MRPP;  $A = 0.005$ ,  $P > 0.2$ ).

The results from CCA ordination of zooplankton groups and environmental parameters indicated that the surveyed environmental parameters might play a minor role on the zooplankton assemblage, only



explaining 6.0% of the total variance. The zooplanktonic abundance observed during the climatic seasons as indicated in the CCA biplot shows that during the SSS abundances have strong associations with rainfall and SST, while abundances during WSS and the DS were strongly correlated to high values of DO, and lower-than-average temperature and precipitation (Table 3; Fig. 5a). Seasonal effects of the variables incorporated in the second axis mainly consisted on a strong positive association with Chl-*a* (Table 3, Fig. 5). In terms of zooplanktonic groups, Appendicularia and Bivalvia largely occur at higher than average rainfall values, while Echinodermata, Insecta, Ichthyoplankton, Decapoda, and Hydrozoa occur when DO values are higher. Polychaeta was associated to high values of Chl-*a*. Copepoda, Sagittoidea, and Trematoda were zooplanktonic taxonomic groups located near the center of the ordination due to the high frequency of appearance and abundance showing minimal correlation with environmental changes.

## DISCUSSION

The present study is the first contribution to understand the dynamics of the zooplankton community in the area of influence of the González River, the well-known spawning ground of snooks by local anglers. The zooplankton community in the area of study was vastly dominated by copepods, showing seasonal variations with significant peaks during the summer rainy season, which is also strongly influenced by the dynamics of the river discharge. The increases in the abundance of zooplankton during the SSS are associated with the increased nutrient inputs of the González River plume, particularly during August-October. Zooplankton abundance peaks appear a few weeks after rainfall and SST increases. Zavala-García *et al.* (2016) reported that in the southern of the Campeche Bay the magnitude of the zooplankton biomass depended on the continental water discharges in direct relationship to the volume discharged into the ocean. The nutrient load is reflected by an increase of sea surface Chl-*a* concentrations during September-November starting its descent in concentration during December. This seasonal pattern agrees with the increase of abundance and diversity of siphonophores in the southern Gulf of Mexico during October (Sanvicente-Añorve *et al.*, 2007). Similarly, the density of benthic macroinfauna also considerably increases during SSS in the area of influence of the Grijalva-Usumacinta river system (Hernández-Arana *et al.*, 2003). The increase of zooplankton abundance during the SSS is consistent with a pattern associated with high rainfall, an increase in sea surface temperature, and a

decrease in salinity (Flores-Coto *et al.*, 2009), particularly during September and October. The first small zooplankton peak abundance observed in May, is probably related to the first rainfalls of the year, with a previous small increase in sea surface chl-*a* concentration. However, during the following months of early summer, when the temperature reaches the highest values, zooplankton richness and abundance decreased considerably. Estrada *et al.* (2009) showed that sea surface temperature varies seasonally (25-30°C) in the area of study, indicating that this situation is characteristic for the southern Gulf of Mexico, and Espinoza-Fuentes *et al.* (2009) highlighted that zooplanktonic biomass and ichthyoplankton density were strongly influenced by temperature and the mixing processes present in the very same region of the Gulf of Mexico. As mentioned above, planktonic blooms are related to the nutrient load incoming from the river discharges during heavy rainfalls.

The area of study is considered a highly productive region (Zavala-García *et al.*, 2016), presenting a very close relationship between zooplankton biomass and the volume of continental water discharges. During 2011, the highest levels of rainfall occurred during September-October, considerably increasing the volume of freshwater discharged by the Grijalva-Usumacinta river system. In this region, stable horizontal salinity and density gradients are induced by the inflow of the Grijalva-Usumacinta river plume (Monreal-Gómez *et al.*, 1992; Flores-Coto *et al.*, 2010a). The sediment load in the Grijalva-Usumacinta River system usually has the highest values in September and October when occurring the highest water discharges of these rivers (Muñoz-Salinas & Castillo, 2015). The phytoplankton community assimilates the input flow of nutrients on the continental shelf, causing higher concentrations of chlorophyll-*a* during rainfall season, promoting an increase of diversity and abundance of the herbivore and omnivore zooplankton groups (Contreras-Espinoza, 2016). The ecological influence that nutrient discharges of rivers have on phytoplankton and zooplankton has been documented worldwide (Flores-Coto *et al.*, 2000; Cotrim *et al.*, 2007). Discharges of the Mississippi River have been well documented to have a direct association with zooplankton abundance and composition and the zooplankton's predators in the northern region of the Gulf of Mexico (Ortner *et al.*, 1989; Lohrenz *et al.*, 1990). High levels of zooplankton abundance have been associated with fluvial and lagoon systems in the southern part of the Gulf of Mexico while decreasing the abundance of zooplankton offshore (Ordóñez-López & Ornelas-Roa, 2003; Contreras-Espinoza, 2016; Rowe, 2017).

The abundance of copepods drives numbers of zooplankton seasonal variability in the area of study. Their broad distribution patterns and high abundance are mainly due to their short life cycles and fast

reproduction rates (adult females can release eggs daily) (Suárez-Morales, 2000; Suárez-Morales *et al.*, 2009; Morales-Serna & Gómez, 2012). Copepoda is the dominant taxonomic group (both in numbers and biomass) in most coastal and open-ocean habitats of the Gulf of Mexico (Rowe, 2017) and the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano (Okolodkov *et al.*, 2011). Similarly, Espinosa-Fuentes *et al.* (2009) concluded that nauplii and copepodite stages dominated zooplanktonic biomass on the continental shelf of Campeche, Mexico.

Chaetognaths (Sagittoidea) and Bivalvia were other abundant zooplankton taxonomic groups. A direct association between Copepoda and Sagittoidea abundance has been observed because arrow worms mostly prey on copepods (Sato *et al.*, 2011; Cota-Meza *et al.*, 2015). The Gulf of Mexico contains almost 20% of all known species of Sagittoidea (Hernández-Flores *et al.*, 2009) with distribution patterns primarily influenced by salinity and temperature, and they may be frequent predators of fish larvae (Mille-Pagaza & Carrillo-Laguna, 2003; Lozano-Cobo *et al.*, 2017). High abundances of Bivalvia larvae are likely related to the natural oyster production that exists in the coastal lagoons near the region (Zamora & Aranda, 2000).

Appendicularia and Euphausiacea were mainly observed during the rainfall season. Euphausiacea species tend to form dense aggregations in temperate zones and cold upwelling waters, providing highly attractive biomass for plankton and nekton predators (Galtsoff, 1954; Fernández *et al.*, 2002). The ecology of Euphausiacea has been widely investigated in the Caribbean Sea and the Gulf of Mexico, showing considerably higher abundances and lower diversity along the coastal zones than in oceanic regions Gasca *et al.*, 2001; Castellanos & Gasca, 2002; Castellanos *et al.*, 2009). In any case, their abundance estimated in the present study did not reach the highly-dense aggregations observed in temperate zones of the Gulf of Mexico (Gasca *et al.*, 2001; Castellanos & Gasca, 2002). Biggs *et al.* (1997) showed that high levels of reproductive activity of krill (evidenced by the high abundance of early larval stages) in the southern Gulf of Mexico occur during summer. The high abundance of Appendicularia has been reported near the continental shelf of Tabasco, influenced by continental water discharge, which decreases salinity and causes low temperatures, conditions that favor food availability during the rainfall season (Flores-Coto *et al.*, 2010a,b).

Fish eggs and larvae diversity and richness are considerably higher in coastal than in oceanic habitats (Monreal-Gómez & Salas de León 2004; Flores-Coto *et al.* 2009). Zooplankton community structure and abundance, as well as sea surface chlorophyll-*a* concentration recorded in the present study, were

spatially homogenous due to the small area investigated over the continental shelf, but with significantly distinct seasonal variability. Centropomids have been reported spawning in the Grijalva-Usumacinta River system during periods with high zooplankton availability (Hernández-Vidal *et al.*, 2014). Copepods were noticeably dominant throughout the year in this coastal and shallow habitat, suggesting they are the most abundant and frequent prey available for fish larvae. Fish eggs and larvae collected during September and November 2011 confirmed the area of study is also an active spawning site. To understand the role that zooplankton play in the diets of fish larvae in this region, future research must investigate their feeding habits using evidence of stomach content and meta genetic methods. The results of the present study help to delimit the periods in the year with a higher abundance of each of the zooplankton taxonomic groups, and knowing the feeding habitat of fish larvae may help to detect which species of the zooplankton can be reared to feed fish larvae under laboratory conditions.

Generalizations of the seasonal fluctuations of the zooplanktonic community observed in the present annual cycle (March 2011-February 2012) should be treated with caution since the association found between the measured environmental variables and the taxonomic composition of the zooplanktonic community certainly change interannually. Rowe (2017) proposed the hypothesis that the low densities and biomass of zooplankton in the southern Gulf of Mexico is caused by the limited production of phytoplankton, which in turn is limited by the lack of inorganic nutrients, principally nitrates. The author acknowledged that there are exceptions in areas near the mouths of the rivers at the base of the Gulf of Campeche. The effect of type and concentration of nutrients not included in this study must be investigated in this region to infer the mechanisms that control phytoplankton and zooplankton species assemblages in the Grijalva-Usumacinta River plume.

## CONCLUSIONS

Zooplankton collected off the coast of Tabasco exhibited a higher relative abundance during the summer storms seasons than during the dry season and the winter storms season. This pattern is probably due to increased levels of nutrients provided by rivers of the Grijalva-Usumacinta River system. These rivers favor primary productivity and foster energy transference within the regional pelagic food web. Copepoda, Bivalvia, Trematoda, and Sagittoidea were the zooplankton taxonomic groups with the highest abundance throughout the year.

## ACKNOWLEDGMENTS

Authors thank the anglers from the Sociedad Cooperativa de Pescadores “San Ramón” Tabasco, especially Ramón Domínguez-Sánchez, for his invaluable logistical support during our biological and environmental surveys. This investigation was a part of the Aquaculture Collaborative Research Support Program, supported partly by the United States Agency for Internal Development (USAID) (LAG-G-00-96-90015-00). The opinions expressed herein are those of the authors and do not necessarily reflect the views of the AquaFish Innovation Lab or USAID. CONACyT provided a Ph.D. scholarship to Leonardo Cruz-Rosado (258602). W.M.C.S. and J.G.G. are grant holders from SNI-CONACyT. J.G.G. is also a grant holder from COFAA-IPN and EDI-IPN fellowship.

## REFERENCES

- Álvarez-Fernández, S., Licandro P., Van Damme, C.J.G. & Hufnagl, M. 2015. Effect of zooplankton on fish larval abundance and distribution: a long-term study on North Sea herring (*Clupea harengus*). ICES Journal of Marine Science, 72(9): 2569-2577. doi: 10.1093/icesjms/fsv140
- Alvariño, A. 1980. The relation between the distribution of zooplankton predators and anchovy larvae. CalCOFI Reports, 21: 150-160.
- Ayala-Pérez, L. A., Terán-González, G.J., Flores-Hernández, D., Ramos-Miranda, J. & Sosa-López, A. 2012. Variabilidad espacial y temporal de la abundancia y diversidad de la comunidad de peces en la costa de Campeche, México. Latin American Journal of Aquatic Research, 40(1): 63-78. doi: 10.3856/vol40-issue1-fulltext-7
- Báez, P. 1997. Key to the families of decapod crustacean larvae collected off northern Chile during an El Niño event. Investigaciones Marinas, Valparaíso, 25: 167-176.
- Biggs, D.C., Zimmerman, R.A., Gasca, R., Suárez-Morales, E., Castellanos, I. & Leben, R.R. 1997. Note on plankton and cold-core rings in the Gulf of Mexico. Fishery Bulletin, 95(2): 369-375.

- Boltovskoy, D. 1981. Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero. Publicación Especial, Mar del Plata, 937 pp.
- Botello, A.V., Rendón von Osten, J., Gold-Bouchot, G. & Agraz-Hernández, C. 2005. Golfo de México, Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, 696 pp.
- Castellanos, I.A. & Gasca, R. 2002. Eufáusidos (Crustacea: Malacostraca) del centro y sur del mar Caribe mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 50(1): 77-85.
- Castellanos, I., Suárez-Morales, E. & Morales-Ramírez, Á. 2009. Euphausiids. In: Werthmann, I. & Cortés, J. (Eds.). *Marine biodiversity of Costa Rica, Central America*. Springer, Dordrecht, pp. 199-207.
- Conde-Porcuna, J.M., Ramos-Rodríguez, E. & Morales-Baquero, R. 2004. El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. *Revista Ecosistemas*, 13(2): 23-29.
- Contreras-Espinoza, B. 2016. Variación espacio-temporal de la estructura comunitaria del zooplancton y su relación con las variables hidrográficas en la desembocadura del río Jamapa, Veracruz, en dos temporadas climáticas (nortes y lluvias). Tesis de Doctorado, Universidad Veracruzana, Veracruz, 90 pp.
- Cota-Meza, M.S., Fernández-Álamo, M.A. & Funes-Rodríguez, R. 2015. Abundancia espacio temporal de *Flaccisagitta enflata* y de la comunidad Chaetognatha en un ciclo circadiano en el Sistema Lagunar de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. *Hidrobiológica*, 25(3): 417-426.
- Cotrim da Cunha, L., Buitenhuis, E.T., Le Quéré, C., Giraud X. & Ludwig, W. 2007. Potential impact of changes in river nutrient supply on global ocean biogeochemistry. *Global Biogeochemical Cycles*, 21(4): GB4007. doi: 10.1029/2006GB002718
- Espinosa-Fuentes, M.L., Flores-Coto, C., Sanvicente-Añorve, L. & Zavala-García, F. 2009. Vertical distribution of zooplankton biomass and ichthyoplankton density during an annual cycle on the continental shelf of the southern Gulf of Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(2), 477-488.

- Estrada, A.E.C., Rodríguez, O.O.D., Bencomo, R.R., Amador, H.T. & Olego, J.C. 2009. Caracterización de la temperatura superficial del mar en el golfo de México, mar Caribe y Atlántico cercano. *Revista Cubana de Meteorología*, 15(1): 45-58.
- Fernández, D., Escribano, R. & Hidalgo, P. 2002. Distribución de eufáusidos en el sistema de surgencia frente a la península de Mejillones (23°S) asociada a condiciones previas y durante El Niño 1997-98. *Investigaciones Marinas, Valparaíso*, 30(1): 25-43.
- Flores-Coto, C., Espinosa-Fuentes, M.D.L.L., Zavala-García, F. & Sanvicente-Añorve, L. 2009. Ictioplancton del sur del golfo de México: Un compendio. *Hidrobiológica*, 19(1): 49-76.
- Flores-Coto, C., Gutiérrez, R.M., González-Félix, M., Sanvicente-Añorve, L. & García, F.Z. 2000. Annual variation of ichthyoplankton assemblages in neritic waters of the southern Gulf of Mexico. *Caribbean Journal of Science*, 36(3/4): 233-243.
- Flores-Coto, C., Sanvicente-Añorve, L. & Sánchez-Ramírez, M. 2010a. Appendicularian distribution and diversity in the southern Gulf of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81(1): 123-131.
- Flores-Coto, C., Sanvicente-Añorve, L., Vázquez-Gutiérrez, F. & Sánchez-Ramírez, M. 2010b. Mesoscale distribution of *Oikopleura* and *Fritillaria* (Appendicularia) in the Southern Gulf of Mexico: spatial segregation. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 45(3): 379-388.
- Galtsoff, P.S. 1954. Gulf of Mexico, its origins, waters, and marine life. *Fishery Bulletin*, 89(55): 1-604.
- Gasca, R., Castellanos-Osorio, I.A. & Biggs, D.C. 2001. Euphausiids (Crustacea, Euphausiacea) and summer mesoscale features in the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Sciences*, 68(3): 397-408.
- Hernández-Arana, H.A., Rowden, A.A., Attrill, M.J., Warwick, R.M., & Gold-Bouchot, G. 2003. Large-scale environmental influences on the benthic macroinfauna of the southern Gulf of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58(4), 825-841.
- Hernández-Flores, R.M., McLelland, J.A. & Suárez-Morales E. 2009. Planktonic Chaetognatha of the Gulf of Mexico. In: Felder, D.L. & D.K. Camp (Eds.). *Gulf of Mexico origins, waters, and biota. Volume I Biodiversity*. Texas A&M Press, Texas, pp. 1165-1171.

- Hernández-Vidal, U., Chiappa-Carrara, X. & Contreras-Sánchez, W.M. 2014. Reproductive variability of the common snook, *Centropomus undecimalis*, in environments of contrasting salinities interconnected by the Grijalva-Usumacinta fluvial system. *Ciencias Marinas*, 40(3): 173-185. doi:10.7773/cm.v40i3.2381.
- Herrera-Silveira, J.A., Lara-Domínguez, A.L., Day, J.W., Yáñez-Arancibia, A., Ojeda, S.M., Hernández, C.T., & Kemp, G.P. 2019. Ecosystem functioning and sustainable management in coastal systems with high freshwater input in the southern Gulf of Mexico and Yucatan Peninsula. In: Wolansky, E., Day, J.W., Elliot, M. & Ramachandran, R. (Eds.). *Coasts and estuaries: the future*. Elsevier, Amsterdam, pp. 377-397. doi:10.1016/b978-0-12-814003-1.00022-8.
- Hopkins, T.L. 1982. The vertical distribution of zooplankton in the eastern Gulf of México. *Deep-Sea Oceanographic Research Papers*, 29(9): 1069-1083. doi: 10.1016/0198-0149(82)90028-0
- Jackson, J.M. & P.H. Lenz. 2016. Predator-prey interactions in the plankton: larval fish feeding on evasive copepods. *Scientific Reports*, 6(33585): 1-11. doi: 10.1038/srep33585
- Lohrenz, S.E., Dagg, M.J. & Whitley, T.E. 1990. Enhanced primary production at the plume/oceanic interface of the Mississippi River. *Continental Shelf Research*, 10(7): 639-664. doi:10.1016/0278-4343(90)90043-L
- Lozano-Cobo, H., Del Prado, M.D.C.G., Sánchez-Velasco, L. & Gómez-Gutiérrez, J. 2017. Seasonal variation in chaetognath and parasite species assemblages along the northeastern coast of the Yucatan Peninsula. *Diseases of Aquatic Organisms*, 124(1), 55-75. doi: 10.3354/dao03106
- McCune, B. & Mefford, M.J, 2002. PC-ORD: Multivariate analysis of ecological data. MjM Software Design.
- Mille-Pagaza, S. & Carrillo-Laguna, J. 2003. Distribución y abundancia de los chaetognatos de la plataforma Tamaulipeca y océano adyacente en abril de 1987. *Hidrobiológica*, 13(3): 223-229.
- Monreal-Gómez, M.A., Salas de León, D.A., Padilla-Pilotze, A.R. & Alatorre-Mendieta, M.A. 1992. Hidrografía y estimación de corrientes de densidad en el sur de la Bahía de Campeche, México. *Ciencias Marinas*, 18: 115-133.



- Monreal-Gómez, M.A. & Salas de León, D.A. 2004. Golfo de México, circulación y productividad. *Ciencias*, 76: 24-33.
- Morales-Serna, F.N. & Gómez, S. 2012. Generalidades de los copépodos parásitos de peces en aguas profundas y el caso de *Lophoura brevicollum* (Siphonostomatoida: Sphyrriidae). In: Zamorano, P., Hendrickx, M.E. & Caso, M. (Eds.). Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico mexicano. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 145-158.
- Muñoz-Salinas, E. & Castillo, M. 2015. Streamflow and sediment load assessment from 1950 to 2006 in the Usumacinta and Grijalva Rivers (Southern Mexico) and the influence of ENSO. *Catena*, 127: 270-278. doi: 10.1016/j.catena.2015.01.007
- Okolodkov, Y.B., Aké-Castillo, J.A., Gutiérrez-Quevedo, M.G., Pérez-España, H. & Salas-Monreal, D. 2011. Annual cycle of the plankton biomass in the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, southwestern Gulf of Mexico. In: Kattel, G. (Ed.). *Zooplankton and phytoplankton: types, characteristics and ecology*. Nova Science Publishers, New York, pp. 63-88.
- Ordóñez-López, U. & Ornelas-Roa. 2003. Variaciones de la comunidad de copépodos plánticos en el gradiente estuarino-costero de Celestún, Yucatán, México. *Hidrobiológica*, 13(3): 231-238.
- Ortner, P.B., Hill, L.C. & Cummings, S.R. 1989. Zooplankton community structure and copepod species composition in the northern Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research*, 9(4): 387-402.
- Perry, R.A. 2003. *A guide to the common inshore marine plankton of Southern Californian*. Malibu High School & UCLA Ocean Globe, Los Angeles.
- Phelps, R. P., Sumiarsa, G.S., Lipman, E.E., Lan, H. P., Moss, K.K. & Davis, A.D. 2005. Intensive and extensive production techniques to provide copepod nauplii for feeding larval red snapper *Lutjanus campechanus*. In: Lee, C.-S., O'Bryen, P.J. & Marcus, N.H. (Eds.). *Copepods in aquaculture*. Blackwell Publishing, Oxford, pp. 151-168.
- Puello-Cruz, A.C., González-Rodríguez, B. & García-Ortega, A. 2008. Investigación en producción y uso de copépodos en larvicultura marina. *Avances en Nutrición Acuícola*. IX Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, pp. 24-27.

- Purcell, J.E. & Grover, J.J. 1990. Predation and food limitation as causes of mortality in larval herring at a spawning ground in British Columbia. *Marine Ecology Progress Series*, 59: 55-61. doi: 10.3354/meps059055.
- Rowe, G.T. 2017. Offshore plankton and benthos of the Gulf of Mexico. In: Rowe, G.T. (Ed.). *Habitats and biota of the Gulf of Mexico: before the deepwater horizon oil spill*. Springer, New York, pp. 641-767.
- Sanvicente-Añorve, L., Alba, C., Alatorre, M.A. & Flores-Coto, C. 2007. Cross-shelf and vertical distribution of siphonophore assemblages under the influence of freshwater outflows in the southern Gulf of Mexico. *Hydrobiologia*, 586(1), 69-78.
- Sato, N.E., Hernández, D. & Viñas, M.D. 2011. Hábitos alimentarios de *Sagitta friderici* Ritter-Záhony en las aguas costeras de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 40(1): 59-74.
- Sherman, K., Smith, W., Morse, W., Berman, M., Green, J. & Ejsymont, L. 1984. Spawning strategies of fishes in relation to circulation, phytoplankton production, and pulses in zooplankton off the northeastern United States. *Marine Ecology Progress Series*, 18(1): 1-19.
- Smith, D.G. 1977. *A guide to marine coastal plankton and marine invertebrate larvae*. Kendall/Hunt Publishing Company, Iowa.
- Støttrup, J.G. 2006. A review on the status and progress in rearing copepods for marine larviculture. Advantages and disadvantages among calanoid, harpacticoid and cyclopoid copepods. In: Cruz-Suárez, L.E., Ricque, D.M., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D.A., Puello-Cruz, A.C. & García-Ortega, A. (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. 15-17. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Suárez-Morales, E. 2000. Copépodos, seres ubicuos y poco conocidos. *CONABIO. Biodiversitas*, 29, 7-11.

- Suárez-Morales, E., Fleeger J.M. & Montagna P.A. 2009. Free-living Copepoda of the Gulf of Mexico. In: Felder, D.L. & Camp, D.K. (Eds.). Gulf of Mexico origins, waters, and biota. Volume I Biodiversity. Texas A&M University Press, Texas, pp. 41-870.
- Ter Braak, C.J.F., & Verdonschot, P.F.M. 1995. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences*, 57(3), 255–289. doi:10.1007/bf00877430
- West, R.C., Psuty, N.P. & Thom, B.G. 1985. Las tierras bajas de Tabasco. Gobierno del Estado de Tabasco, Biblioteca Básica Tabasqueña, Tabasco.
- Yáñez-Arancibia, A. & Day, J.W. 2004. Environmental sub-regions in the Gulf of Mexico coastal zone: the ecosystem approach as an integrated management tool. *Ocean & Coastal Management*, 47(11-12): 727-757.
- Yúfera, M. & Darias, M.J. 2007. The onset of exogenous feeding in marine fish larvae. *Aquaculture*, 268(1-4): 53-63.
- Zamora, A.G. & Aranda, D.A 2000. Producción somática de dos especies de *Crassostrea virginica* e *Ischadium recurvum* (Bivalvia) en Mecocacán, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical*, 48(1): 65-75.
- WoRMS Editorial Board World Register of Marine Species. <http://www.marinespecies.org/>. Reviewed: December 9, 2019.

**Table 1.** Mean  $\pm$  standard deviation of environmental variables recorded *in situ* at the time of sampling in the three sampling sites (DO: dissolved oxygen, SST: sea surface temperature and salinity; n = 3), monthly average values of and satellite chlorophyll-*a* concentration (n = 29-31) and monthly cumulative rainfall recorded during March 2011-February 2012 at the continental shelf of Tabasco, Mexico. DS: dry season; SSS: summer storm season, WSS: winter storm season.

Season	Month	SST (°C)	Salinity	DO (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	Rainfall (mm month <sup>-1</sup> )	Chlorophyll- <i>a</i> (mg Chl- <i>a</i> L <sup>-1</sup> )
DS	Mar	24.43 $\pm$ 0.30	32.22 $\pm$ 1.30	8.30 $\pm$ 0.82	60.43 $\pm$ 0.00	3.00 $\pm$ 0.31
	Apr	26.24 $\pm$ 1.08	32.00 $\pm$ 1.73	6.52 $\pm$ 0.80	0.00 $\pm$ 0.00	3.30 $\pm$ 0.20
	May	26.48 $\pm$ 0.79	31.66 $\pm$ 1.32	7.32 $\pm$ 0.43	34.02 $\pm$ 0.00	2.62 $\pm$ 0.74
	Jun	27.95 $\pm$ 0.49	33.44 $\pm$ 1.94	6.09 $\pm$ 0.07	70.68 $\pm$ 0.00	2.57 $\pm$ 0.57
SSS	Jul	27.62 $\pm$ 1.02	34.44 $\pm$ 1.67	4.75 $\pm$ 0.93	188.21 $\pm$ 0.00	2.00 $\pm$ 0.70
	Aug	26.77 $\pm$ 1.12	33.29 $\pm$ 2.50	7.56 $\pm$ 0.55	62.03 $\pm$ 0.00	2.14 $\pm$ 0.07
	Sep	28.72 $\pm$ 0.35	30.22 $\pm$ 1.86	6.42 $\pm$ 1.00	316.84 $\pm$ 0.00	5.17 $\pm$ 4.42
	Oct	27.67 $\pm$ 0.78	31.78 $\pm$ 1.45	5.57 $\pm$ 1.01	468.23 $\pm$ 3.80	4.17 $\pm$ 1.78
WSS	Nov	27.18 $\pm$ 0.70	32.33 $\pm$ 1.00	6.93 $\pm$ 0.98	131.88 $\pm$ 0.00	5.03 $\pm$ 2.76
	Dec	25.94 $\pm$ 1.42	34.11 $\pm$ 1.62	8.10 $\pm$ 1.70	67.85 $\pm$ 0.00	3.99 $\pm$ 1.10
	Jan	25.12 $\pm$ 1.12	32.44 $\pm$ 0.88	8.31 $\pm$ 1.07	127.89 $\pm$ 0.07	3.18 $\pm$ 0.29
	Feb	25.30 $\pm$ 0.30	31.31 $\pm$ 0.96	8.68 $\pm$ 0.33	192.57 $\pm$ 1.13	0.75 $\pm$ 1.49
Annual	Range	24.43 - 28.72	30.22 - 34.44	4.75 - 8.68	00.00 - 468.20	0.75 - 5.17
mean	Mean	26.83 $\pm$ 1.28	32.352 $\pm$ 1.17	6.93 $\pm$ 1.22	143.38 $\pm$ 133.96	3.13 $\pm$ 1.28
Seasonal mean	DS	25.71 $\pm$ 1.20	31.96 $\pm$ 1.43	7.38 $\pm$ 1.02	31.47 $\pm$ 25.19	2.97 $\pm$ 0.54
	SSS	27.75 $\pm$ 1.01	32.63 $\pm$ 2.35	6.08 $\pm$ 1.21	206.30 $\pm$ 146.20	3.21 $\pm$ 2.42
	WSS	25.89 $\pm$ 1.24	32.55 $\pm$ 1.49	8.01 $\pm$ 1.27	39.41 $\pm$ 20.46	3.24 $\pm$ 2.26

**Table 2.** Annual mean  $\pm$  standard deviation of zooplankton abundance (thousands of individuals per 100 m<sup>-3</sup>), relative abundance (%), and frequency of appearance (shown between parentheses) for each zooplankton taxonomic group collected over the continental shelf of Tabasco (three sampling locations combined) collected between March 2011-February 2012 with three different zooplankton net mesh sizes (20, 64, and 120  $\mu$ m). Actinopterygii (includes fish eggs and larvae).

Taxonomic groups	Zooplankton net mesh size ( $\mu$ m)			Relative abundance (frequency)		
	20	64	120	20	64	120
Copepoda	57.14 $\pm$	127.64 $\pm$ 93.41	114.57 $\pm$	77.33 (12)	79.83 (12)	73.70 (12)
Trematoda	6.72 $\pm$ 7.06	6.77 $\pm$ 8.78	10.45 $\pm$ 17.04	9.09 (9)	4.23 (8)	6.72 (9)
Bivalvia	1.85 $\pm$ 1.74	8.01 $\pm$ 16.2	9.63 $\pm$ 11.52	2.50 (8)	5.01 (8)	6.20 (7)
Sagittoidea	3.80 $\pm$ 6.36	5.99 $\pm$ 7.62	6.01 $\pm$ 5.74	5.14 (8)	3.75 (11)	3.87 (10)
Decapoda	0.53 $\pm$ 0.76	4.64 $\pm$ 9.20	5.87 $\pm$ 15.10	0.72 (6)	2.90 (11)	3.77 (10)
Echinodermata	0.16 $\pm$ 0.57	1.13 $\pm$ 3.45	5.31 $\pm$ 15.70	0.22 (1)	0.71 (3)	3.41 (3)
Polychaeta	1.01 $\pm$ 1.68	1.27 $\pm$ 3.94	2.10 $\pm$ 3.43	1.36 (6)	0.80 (5)	1.35 (5)
Cladocera	2.18 $\pm$ 5.67	2.87 $\pm$ 6.88	0.73 $\pm$ 1.86	2.95 (3)	1.80 (3)	0.47 (5)
Appendicularia	0.09 $\pm$ 0.15	1.07 $\pm$ 2.62	0.35 $\pm$ 0.81	0.13 (4)	0.67 (4)	0.22 (3)
Stomatopoda	0.00 $\pm$ 0.00	0.07 $\pm$ 0.25	0.16 $\pm$ 0.50	0.00 (0)	0.05 (1)	0.11 (2)
Hydrozoa	0.00 $\pm$ 0.00	0.04 $\pm$ 0.08	0.10 $\pm$ 0.21	0.00 (0)	0.02 (2)	0.07 (3)
Euphausiacea	0.15 $\pm$ 0.39	0.04 $\pm$ 0.13	0.07 $\pm$ 0.19	0.20 (2)	0.02 (1)	0.05 (2)
Actinopterygii	0.04 $\pm$ 0.08	0.00 $\pm$ 0.00	0.05 $\pm$ 0.14	0.02 (2)	0.00 (0)	0.02 (2)
Insecta	0.01 $\pm$ 0.03	0.02 $\pm$ 0.06	0.04 $\pm$ 0.13	0.01 (1)	0.01 (2)	0.02 (1)
Gastropoda	0.22 $\pm$ 0.50	0.05 $\pm$ 0.14	0.02 $\pm$ 0.06	0.30 (3)	0.03 (2)	0.01 (1)
Amphipoda	0.00 $\pm$ 0.00	0.27 $\pm$ 0.88	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 (0)	0.17 (2)	0.00 (0)

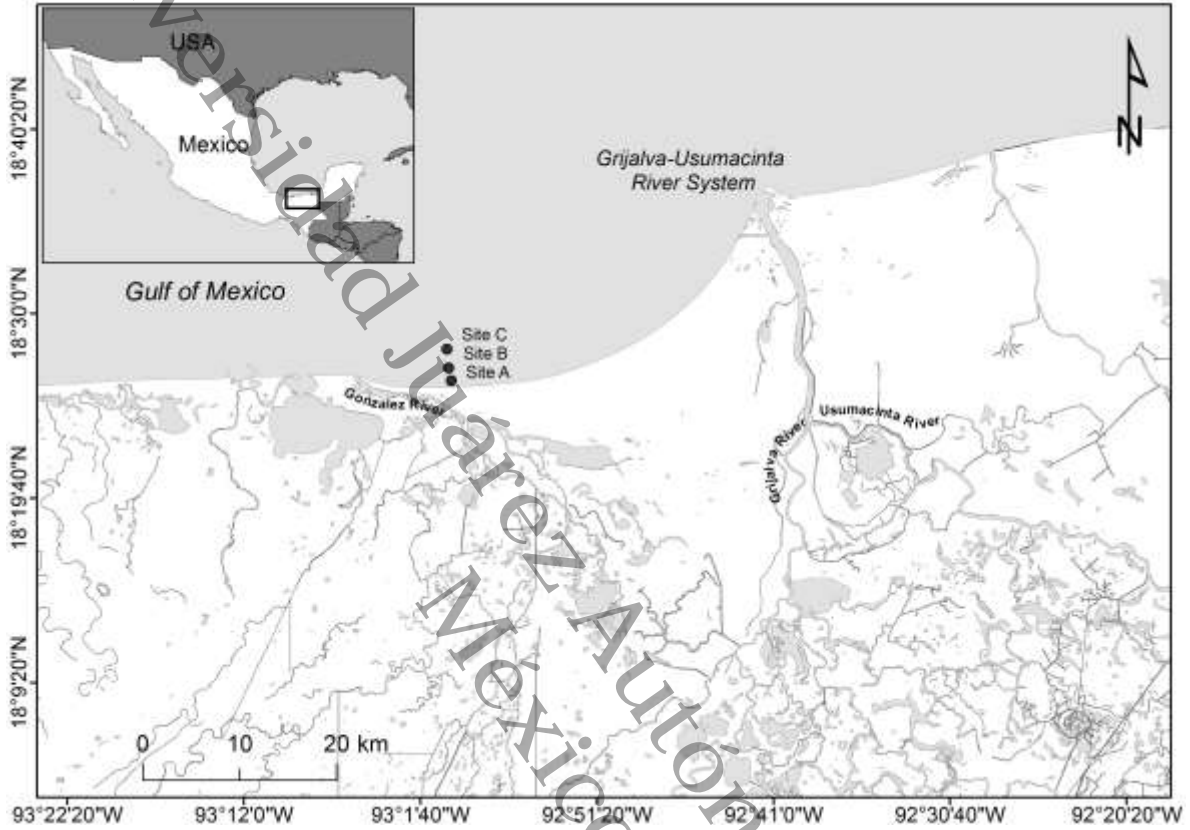
**Table 3.** Pearson (*r*) and Kendall (tau) correlation values from the Canonical Correspondence Analysis showing the first three axes using correlation values for each environmental variable and abundance of zooplankton taxonomic groups collected at the three zooplankton sampling stations during 2011-2012 (combined abundance of the three zooplankton mesh sizes). The larger Pearson correlation values are shown in bold. SST: sea surface temperature; Sal: salinity; DO: dissolved oxygen; Rain: cumulative rainfall; Chl-*a*: chlorophyll-*a*. Actinopterygii (includes fish eggs and larvae).

Axis	1			2			3		
	<i>r</i>	R <sup>2</sup>	tau	<i>r</i>	R <sup>2</sup>	tau	<i>r</i>	R <sup>2</sup>	tau
SST	-0.532	0.283	-0.394	-0.213	0.046	-0.220	<b>0.548</b>	0.301	0.408
Sal	-0.249	0.062	-0.273	<b>0.281</b>	0.071	-0.217	0.059	0.004	0.031
DO	<b>0.770</b>	0.593	0.597	-0.084	0.007	-0.046	<b>-0.642</b>	0.412	-0.510
Rain	<b>-0.854</b>	0.728	-0.625	-0.104	0.011	-0.167	-0.229	0.053	0.008
Chl- <i>a</i>	-0.290	0.084	-0.122	<b>0.781</b>	0.610	0.551	-0.099	0.010	-0.095
Copepoda	-0.303	0.092	-0.206	0.054	0.003	0.023	0.169	0.028	0.120
Polychaeta	0.015	0.000	0.041	<b>0.332</b>	0.111	-0.259	0.064	0.004	0.056
Euphausiacea	-0.071	0.005	-0.034	-0.058	0.003	-0.025	-0.073	0.005	-0.047
Amphipoda	0.127	0.016	0.115	0.095	0.009	0.098	-0.122	0.015	-0.098
Gastropoda	0.014	0.000	-0.011	<b>-0.209</b>	0.044	-0.177	<b>-0.039</b>	0.001	0.003
Decapoda	0.140	0.020	0.103	-0.158	0.025	-0.119	0.082	0.007	0.063
Echinodermata	0.166	0.027	0.106	-0.174	0.030	-0.169	0.115	<b>0.013</b>	0.168
Appendicularia	<b>-0.316</b>	0.100	-0.223	-0.073	0.005	-0.043	<b>0.267</b>	0.072	0.184
Hydrozoa	0.167	0.028	0.130	0.037	0.001	0.049	-0.018	0.000	-0.016
Bivalvia	<b>-0.463</b>	0.211	-0.297	-0.071	0.005	-0.062	<b>-0.198</b>	0.039	-0.127
Stomatopoda	-0.097	0.009	-0.111	<b>0.345</b>	0.119	0.116	0.042	0.002	0.037
Sagittoidea	-0.308	0.098	-0.257	-0.183	0.033	-0.192	0.124	0.015	0.096
Cladocera	-0.078	0.006	-0.066	-0.128	0.016	-0.095	-0.153	0.023	-0.093

Trematoda	<b>-0.310</b>	0.096	-0.258	-0.076	0.006	-0.062	<b>0.234</b>	0.055	0.176
Insecta	0.065	0.004	0.042	-0.036	0.001	-0.042	0.146	0.021	0.127
Actinopterygii	0.075	0.006	0.046	-0.020	0.000	-0.002	0.051	0.003	0.051

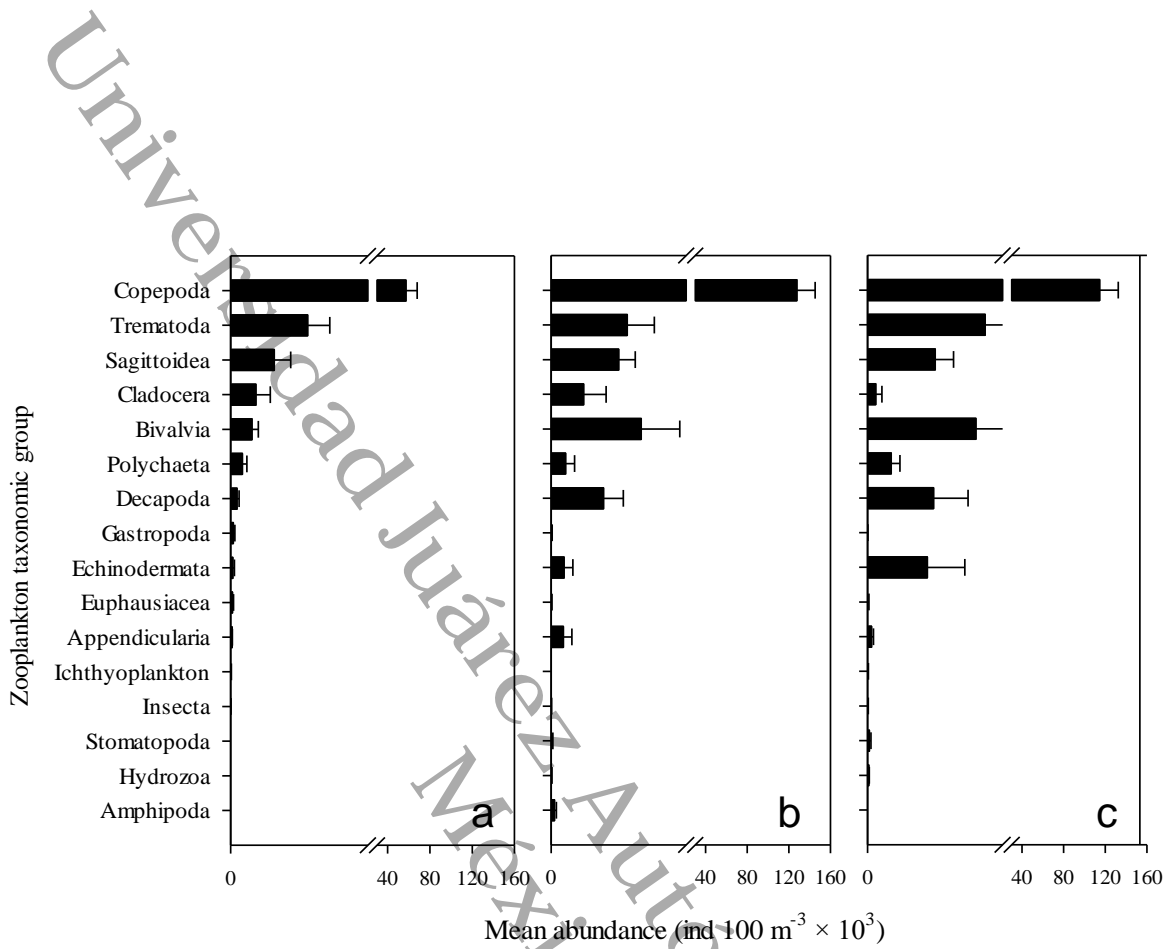
---

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

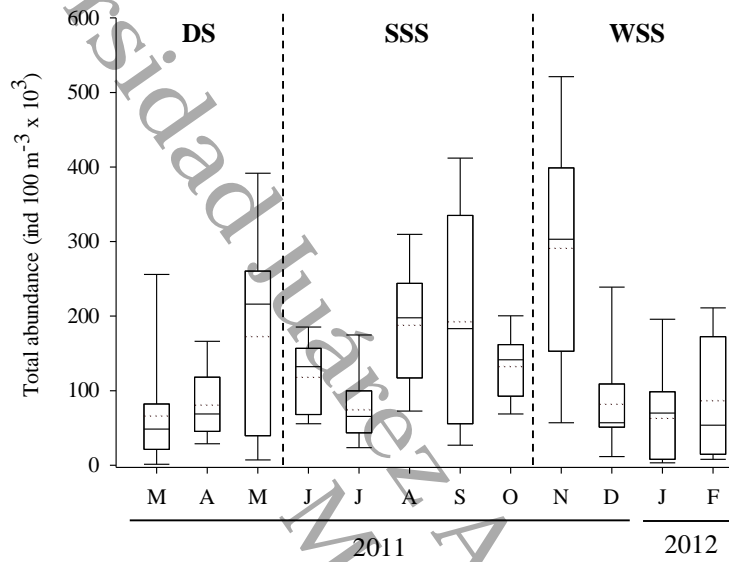


**Figure 1.** Area of the study showing the location of the three sampling sites, known by local anglers as snook spawning sites over the continental shelf of Tabasco, Mexico.

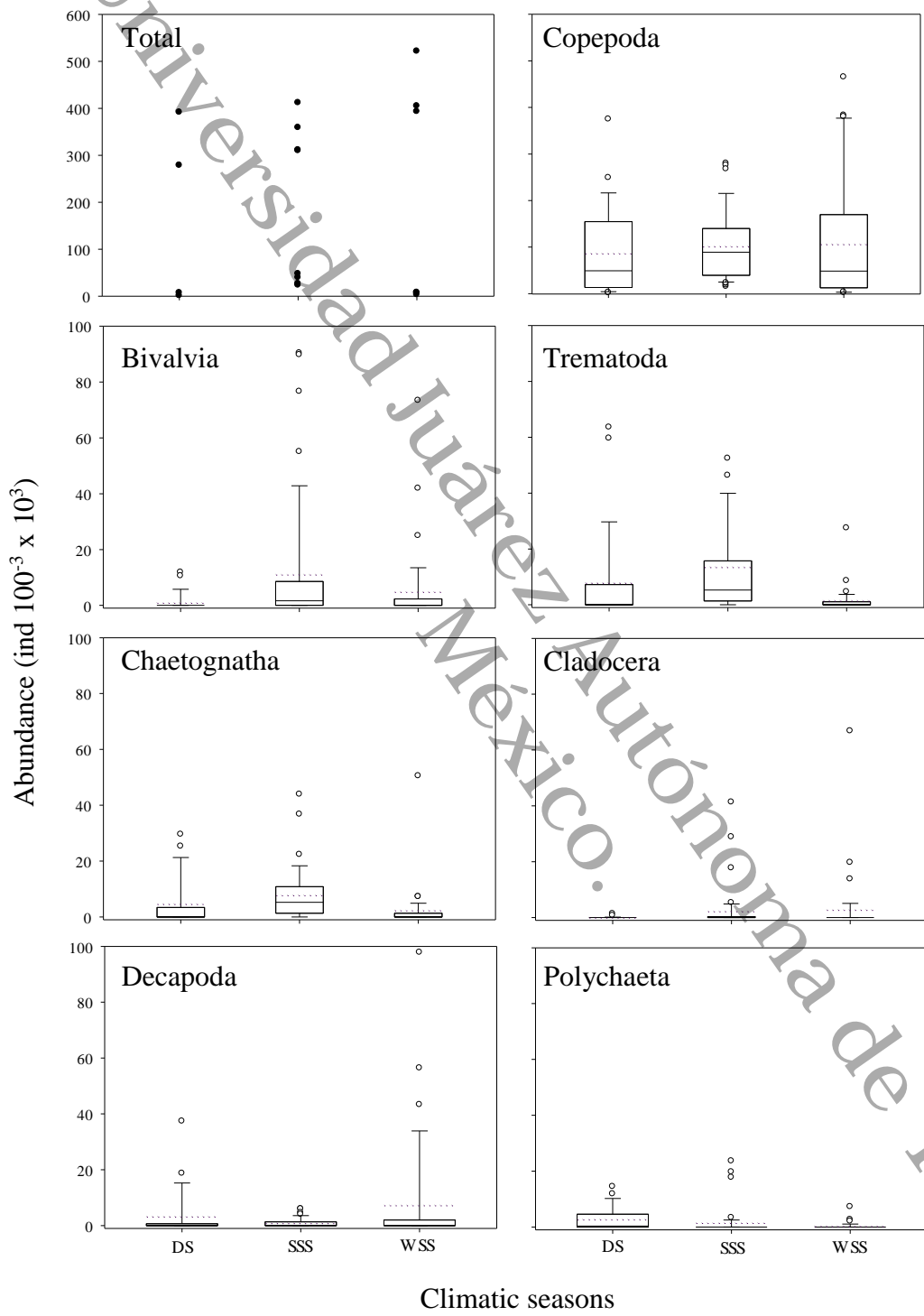




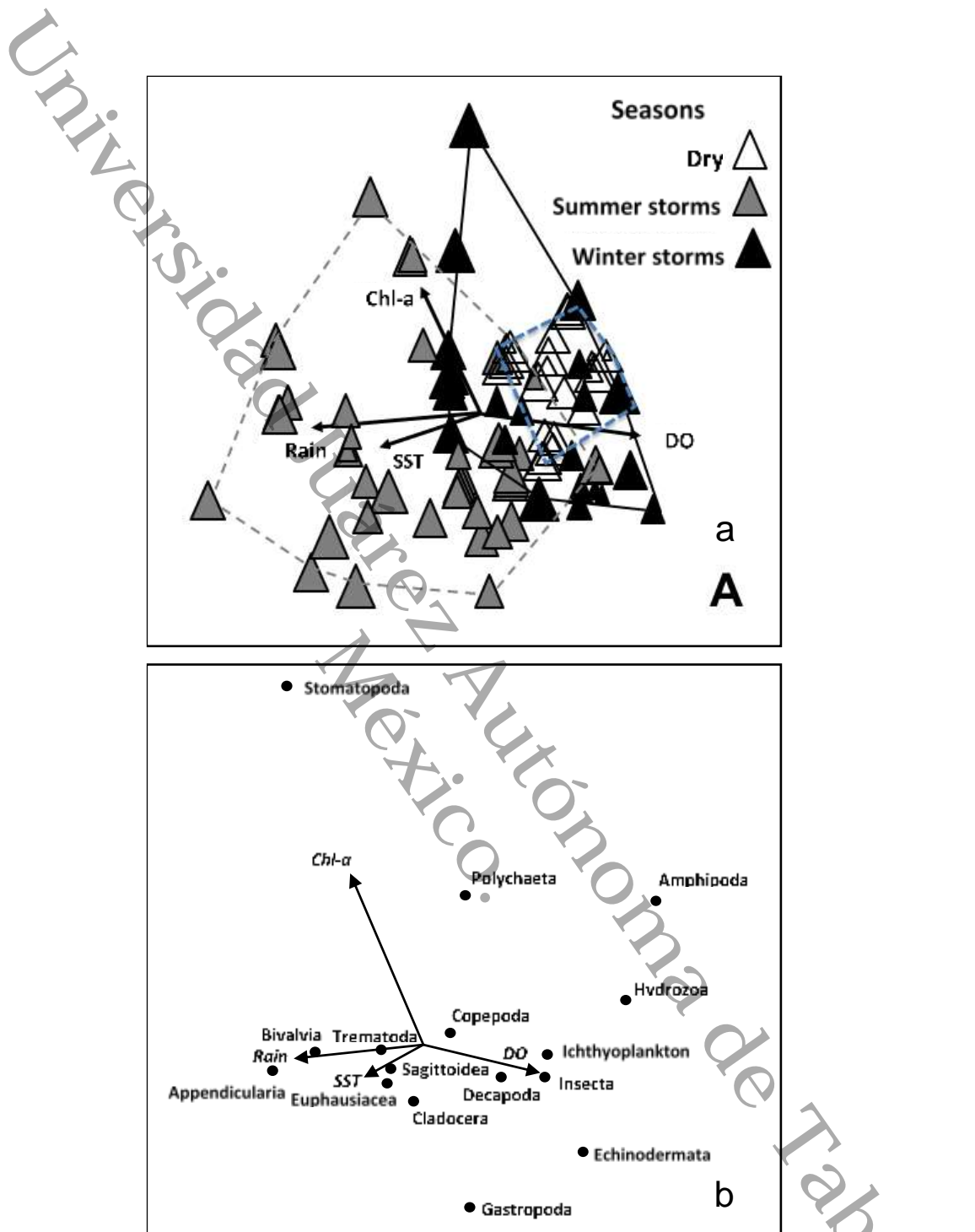
**Figure 2.** Average standardized ( $\pm$ SE, standard error) abundance expressed in thousands of individuals per  $100 \text{ m}^3$  for each zooplankton taxonomic group ( $n = 36$ ) captured with each type of zooplankton net: a) 20, b) 64, and c) 120  $\mu\text{m}$ . Axis break in figures omits data between 12-30 ind  $100 \text{ m}^{-3}$ .



**Figure 3.** Whisker Box plots of monthly standardized total zooplankton abundance (all groups combined) expressed in thousands of individuals per 100 m<sup>3</sup>. Each value in the boxes is the sum of all taxonomic groups captured in three sites with three net sizes (n = 9). Dotted lines inside the boxes show mean values, while solid lines represent the medians. Climatic seasons are separated by shaded lines DS: dry season; SSS: summer storms season; WSS: winter storms season. The year of the sampling is stated underneath the sampled month.



**Figure 4.** Seasonal average standardized abundance expressed in thousands of individuals per 100 m<sup>3</sup>. DS: dry season (n = 27); SSS: summer storm season (n = 45); and WSS: winter storm season (n = 36). Open dots indicate individual extreme cases.



**Figure 5.** Biplot from the Canonical Correspondence Analysis of zooplankton taxonomic groups collected from March 2011 to February 2012 at the southern Gulf of Mexico. a) Seasonal associations of zooplankton samples (classified per climatic seasons) as a function of the most influential environmental variables: cumulative rainfall (Rain), dissolved oxygen concentration (DO), sea surface temperature (SST), and chlorophyll-*a* (Chl-*a*), b) same CCA showing seasonal association of the zooplankton identified per taxonomic group as a function of the same five environmental

variables. Vector length indicates the magnitude of the explained variability by environmental variables. The origin (0,0) is the mean of each environmental variable, transects projecting on the side opposite to the arrow are inferred to exhibit a lower-than-average value of the variable.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

**CAPITULO III**

**AISLAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE VIDA DE  
*Apocyclops panamensis* COLECTADO EN LA COSTA DE  
TABASCO.**

## INTRODUCCIÓN

La subclase Copepoda tiene más de 14,000 especies conocidas con una gran diversidad de formas y hábitats. Se estima que estos organismos contribuyen con más del 80% de la biomasa zooplanctónica en el ambiente marino, dada su abundancia (Hopkins, 1982; Boxshall & Defaye, 2008). Por esta razón, es posible que formen un eslabón importante en la cadena trófica de estos ambientes y por tanto, impactan la productividad pesquera y reclutamiento de organismos a los que sirven de alimento.

El orden de los Cyclopoida está constituido por copépodos principalmente de vida libre representado por al menos 800 especies (Suárez-Morales, 2015). Sin embargo, muchas especies pueden vivir en amplio rango de salinidad que van desde ambientes salobres hasta los hipersalinos (Cano *et al.*, 2004; Pérez *et al.*, 2006; Reid & Hribar, 2008) por lo que es posible suponer que estas especies muestren facilidad de aclimatación a diferentes valores ofrecidos por las variables ambientales (Velásquez *et al.*, 2001; Lindley *et al.*, 2011). El éxito en la colonización de hábitats por los copépodos depende de diversos factores. En el caso de las poblaciones de copépodos Cyclopoida, incrementan o disminuyen con base en la producción en cantidad y calidad de huevos por las hembras. Esto se debe a que; dependiendo de las condiciones ambientales, las hembras pueden producir desde un par, hasta 50 huevos, cada hembra porta los huevos en sus sacos laterales y pueden llegar a producir varios cientos a lo largo de su vida (Suárez-Morales, 2015). La eclosión generalmente ocurre entre los días uno y cinco posteriores a la puesta, dependiendo de las condiciones ambientales predominantes, la temperatura controla la tasa de crecimiento y desarrollo e inclusive se cree que existe una correlación entre la temperatura y la longevidad en los Cyclopoida de la familia Cyclopidae (Suárez-Morales, 2015). Por otro lado, los cambios en la salinidad en el ambiente también constituyen un factor al que los copépodos son susceptibles, alterando sus procesos metabólicos, estos factores se han observado que impactan en las estrategias para la permanencia de las poblaciones (Hall & Burns, 2001).

El uso de organismos zooplanctónicos en la acuicultura es imprescindible, destacando el uso de rotíferos y copépodos. De este último grupo, los órdenes más usados como alimento vivo son el Calanoida, Harpacticoida y Cyclopoida, habiéndose demostrado que incrementan la

supervivencia de las larvas que los consumen (Prieto, 2006; Stottrup, 2006). Distintas especies de copépodos han sido evaluadas como fuente de alimento en cultivo larvario de peces marinos. Especial atención hay sobre la etapa de nauplio que ha sido la de mayor interés debido a su pequeño tamaño, ideal para el reducido tamaño de la boca de este tipo de peces. El éxito en uso de nauplios de copépodos ha sido observado en especies marino-estuarinos como el barramundi (*Lates calcarifer*), el huachinango rojo (*Lutjanus campechanus*), la dorada (*Sparus aurata*) (Kahan *et al.*, 1982; Marshall, 2002; Phelps *et al.*, 2005) y el robalo chucumite (*Centropomus parallelus*) (Vanacor-Barroso, 2017).

Si bien; son conocidas una gran cantidad de especies de copépodos, el número de estas especies que se emplean en la producción acuícola experimental y comercial o que se han evaluado como alternativa de alimento vivo es reducido. Esto es debido principalmente al desconocimiento de las condiciones ambientales en que se desarrollan, así como a la falta de información sobre sus estrategias de crecimiento poblacional. Es factible suponer que la baja tasa de sobrevivencia en cultivos larvarios marinos (que oscila entre 30-40%), esté relacionada entre otras causas, a la falta de un alimento vivo adecuado. Aquí es donde los copépodos podrían jugar un rol importante que requiere ser explorado a mayor detalle.

El objetivo de este trabajo consistió en aislar especies de copépodos nativos a partir de una colecta de zooplankton de la costa de Tabasco e implementar una estrategia para definir las condiciones óptimas de su cultivo experimental. Además de conocer algunos aspectos de su ciclo de vida para identificar su estrategia de crecimiento poblacional bajo condiciones controladas.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Aislamiento, identificación y selección de copépodos con potencial para larvicultura marina.**

*Aislamiento del zooplancton.* Para el aislamiento y cultivo del copépodo nativo se realizaron muestreos de zooplancton en la margen costera de la costa de Tabasco, mismos que se ubicaron entre  $18^{\circ}28'34.71''\text{N}$ - $92^{\circ}58'7.34''\text{O}$  y  $18^{\circ}26'26.43''\text{N}$ - $93^{\circ}8'4.58''\text{O}$ . El aislamiento consistió en obtener organismos vivos por medio de arrastres usando redes con abertura de malla de  $120\ \mu\text{m}$ , a una profundidad de entre 1-2 m. Los arrastres fueron lentos en una embarcación con motor fuera de borda a marcha mínima (2.5 km/h) y de corta duración (5 minutos), los organismos en mal estado se excluyeron de la selección final (Fig. 1 y 2).

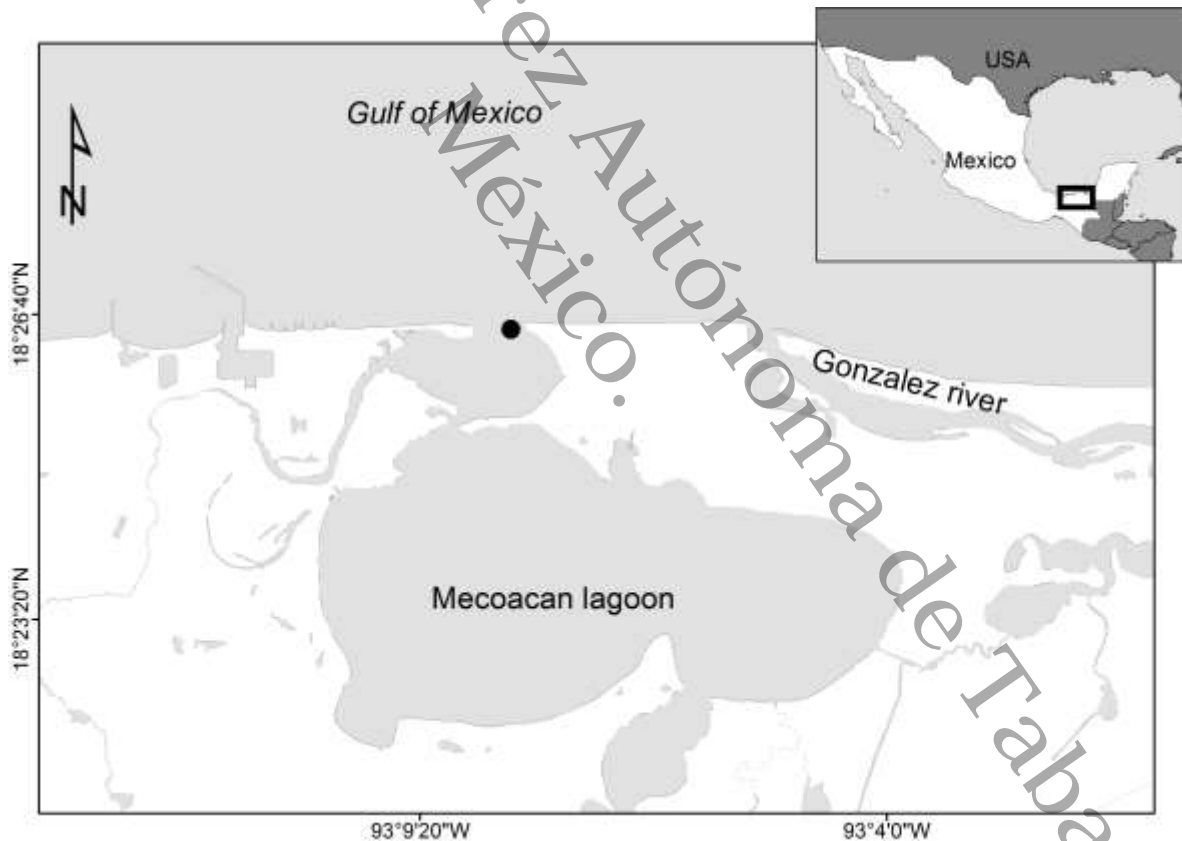


Figura 1. Área de recolecta de zooplancton para realizar el aislamiento de copépodos nativos.

Los organismos recolectados se colocaron en frascos de boca ancha de 500 mL, de capacidad usando agua del sitio, posteriormente fueron transportados en una nevera con capacidad de 20 L, manteniéndose con hielo a baja temperatura, de manera inmediata fueron trasladados al Laboratorio de Acuicultura Tropical (LAT), en la División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT.

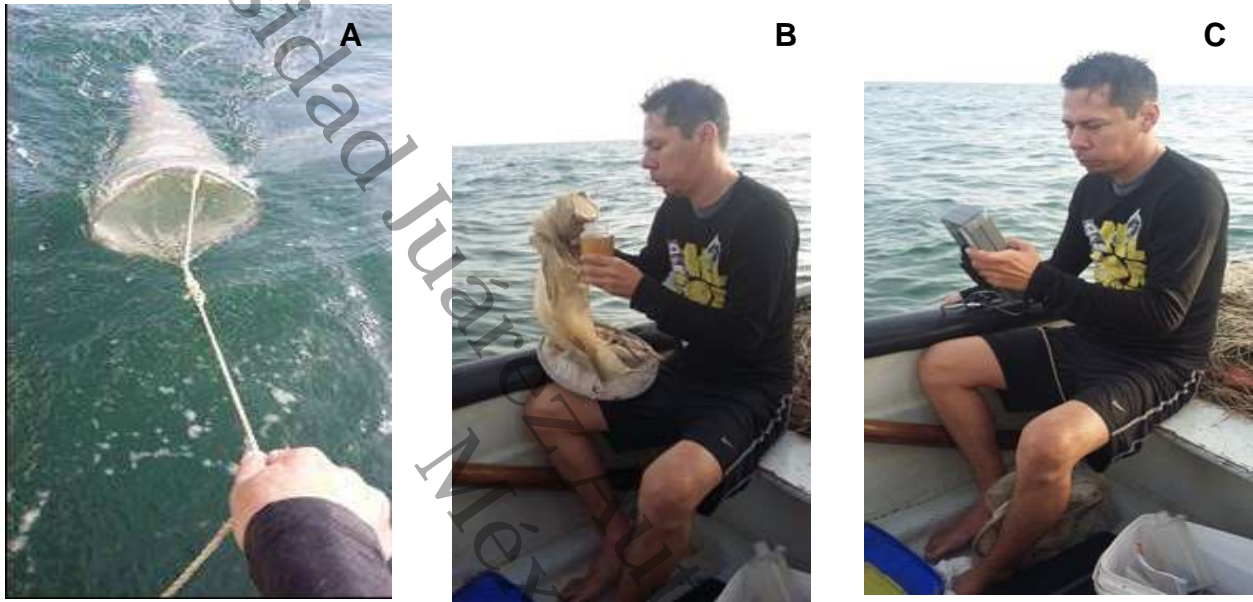


Figura 2. Lance de la red de muestreo (A), envasado de material biológico para transporte (B) y registro de variables ambientales (C).

*Establecimientos de cultivos de zooplancton.* En el laboratorio, el material vivo se tamizó a 500  $\mu\text{m}$  con la finalidad de eliminar los organismos de mayor tamaño, incluidos potenciales depredadores como larvas de peces y quetognatos, entre otros (Pérez-Urbiola, Com. Pers, 2017). Los organismos se colocaron en dos tanques de cultivo de fibra de vidrio con capacidad de 70 L y fueron mantenidos a una temperatura promedio de  $25.7 \pm 1.13$  °C y pH de  $7.96 \pm 0.05$  empleándose agua marina a la misma salinidad obtenida en el sitio de colecta. El agua empleada fue previamente filtrada con papel filtro de 2  $\mu\text{m}$  y tratada por 10 min con una solución comercial de hipoclorito de sodio para alcanzar la concentración de 45 ppt de hipoclorito de sodio; siendo posteriormente neutralizada adicionando 250 mg de tiosulfato de sodio  $\text{L}^{-1}$ . Los cultivos fueron alimentados diariamente con una mezcla de microalgas de las especies *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii* y *T. suecica* para

mantener una densidad de 20,000 células mL<sup>-1</sup>. Transcurridos 20 días bajo estas condiciones de cultivo se recuperó el zooplancton prevaleciente con un tamiz de 50 µm que fue nuevamente mantenido por 30 días en condiciones similares a las descritas (Fig. 3).

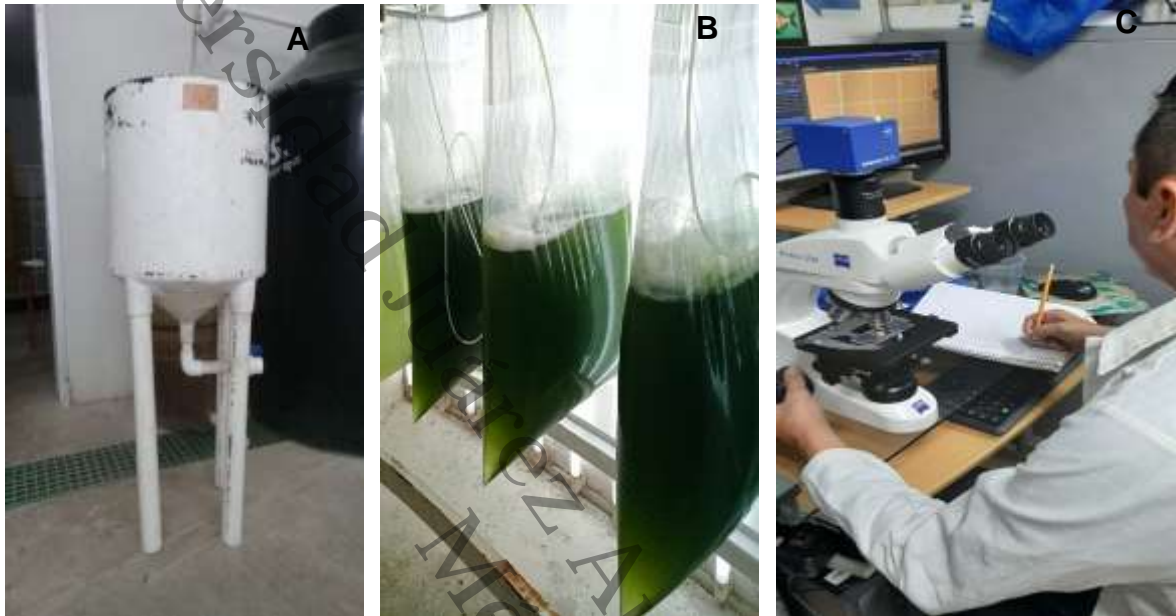


Figura 3. Tanques de cultivo de zooplancton (A); cultivos puros de microalgas empleadas para la alimentación del zooplancton en laboratorio (B); conteos algales realizados para mantener la densidad celular constante (C).

*Aislamiento de cepas de copépodos.* Se seleccionaron los copépodos, por ser considerados organismos con muy alto valor nutritivo en la maricultura. El aislamiento de la cepa inició separando ejemplares adultos de las especies prevalecientes en las condiciones de cultivo previamente descritas. Los ejemplares fueron concentrados empleando un tamiz de 50 µm y bajo el microscopio estereoscópico se separaron diez ejemplares adultos de dos especies aparentes que se habían estado observando durante el trabajo de cultivo en laboratorio. Los organismos separados fueron mantenidos en matraces con capacidad de 1 L<sup>-1</sup> y alimentados con la mezcla algal citada previamente. Esta separación de organismos adultos se realizó en tres ocasiones consecutivas, sembrándose los organismos en nuevos matraces (Fig. 4).

*Determinación de las especies de copépodos.* Para la determinación de las especies cultivadas, muestras con ejemplares se colocaron en viales de 2 mL y fueron fijadas en

alcohol al 96%, adicionada con una gota de glicerina y enviadas para su determinación al Departamento de Sistemática y Ecología Acuática en El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) Unidad Chetumal, coordinado por el Dr. Eduardo Suárez Morales.



Figura 4. Separación de ejemplares adultos (A), concentración de ejemplares (B), resembrado de organismos en matraces (C).

*Obtención de cultivos madre.* El cultivo madre se obtuvo mediante el aumento progresivo de volumen a partir de los matraces de cultivo de  $1 \text{ L}^{-1}$  y manteniendo las condiciones de temperatura, salinidad y pH descritas previamente. Estos cultivos madre se emplearon para los experimentos y estudios posteriores.

#### **Ciclo de vida de *Apocyclops panamensis*.**

*Determinación del ciclo de vida en condiciones de laboratorio.* El ciclo de vida se analizó siguiendo la metodología de Marshall (2002), empleando como referencia una salinidad de 28 y una temperatura de  $28^{\circ}\text{C}$  que se mantuvieron constantes durante todo el seguimiento. Inicialmente de un cultivo madre se aislaron 20 hembras adultas, posteriormente, de esta misma cohorte se aislaron 18 hembras ovígeras para la obtención de los nauplios. Transcurridas 16 horas se recolectaron 60 nauplios que fueron aislados individualmente y distribuidos en 4 tubos de ensayo conteniendo 30 mL ( $0.5 \text{ nauplios/mL}$ ). Los tubos fueron colocados en una gradilla y sumergidos parcialmente en una tina de polietileno de  $100 \text{ L}^{-1}$  en

la que la temperatura se mantuvo constante utilizando un calentador con termostato (AQUA-KRIL® 4160 México). La alimentación consistió en mantener una densidad algal diaria de 200,000 cel/mL<sup>-1</sup> de *Tetraselmis chuii* previo conteo del número celular remanente del suministro anterior. Se realizaron recambios de agua del 50% cada 48 horas ajustando las características fisicoquímicas. Los cultivos se mantuvieron con un fotoperiodo de 12:12 (luz: oscuridad).

*Seguimiento de etapas del ciclo.* Las etapas de desarrollo del copépodo fueron medidas y fotografiadas empleándose un microscopio óptico con cámara digital (Carl Zeiss Primo Star Axiocam ERc-5s) empleando los objetivos 4x y 10x. El seguimiento fotográfico de ejemplares se realizó con muestreos cada seis horas entre el día 1 al 5. A partir de las fotografías se definieron las medidas de los ejemplares empleando el software para microfotografías ZEN® 2.3 (Carl Zeiss, Microscopy Environment GmbH, 2011). En las etapas naupliares se consideró el largo y ancho únicamente, mientras que a partir de la etapa de copepodito se consideraron el largo total que incluye el prosoma y el urosoma (LT) y ancho del prosoma (AP) definido como la parte más ancha del organismo (Suárez-Morales 2015) (Fig. 5).



Figura 5. Sistema empleado durante la experimentación. Gradilla sumergida con los tubos de experimentación (A); alimentación de los cultivos (B); registro fotográfico (C).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las muestras de zooplancton obtenidas de los tres viajes de recolecta realizados en la zona costera se observaron varias especies pertenecientes a diversos grupos, algunas de estas especies, numéricamente presentaron una gran cantidad de organismos. Aunque el objetivo de esta recolecta no fue la determinación de los grupos, a simple vista, durante la revisión rápida previa a someterse a cultivo se observó un amplio número de Copépodos Calanoida, Harpacticoida y Cyclopoida. Al transcurrir los primeros tres días se observó un descenso importante en el zooplancton prevaleciente lo cual puede reflejar la falta de capacidad de estas especies para aclimatarse a las nuevas condiciones en laboratorio, pero también a daños durante la recolecta, transporte y excesiva manipulación. Al respecto Boltovskoy (1981), menciona que la mayor mortandad de los organismos zooplanctónicos colectados se presenta las primeras 24 horas. Es posible que algunas estrategias puedan contribuir al proceso de aclimatación como recomienda Anzueto (2014), quien sugiere aclimatar a los organismos a la nueva temperatura, proporcionar una aireación suave y mantener en suspensión las microalgas; mientras que Jon (2009), recomienda someter a aireación el agua que se utilizará para el cultivo de copépodos por un periodo de 24 a 48 horas para eliminar cualquier químico presente. Si bien, sería conveniente que se mantuviera un mayor número de especies sobrevivientes a la aclimatación, ciertamente aquellas que logran soportar el manejo en cautiverio bajo las variables ofrecidas son las que se podrán mantener de forma exitosa en el cepario. Este es el caso de las dos especies de copépodos que prevalecieron en los tanques transcurridos los 50 días de cultivo, fue notoria la superioridad numérica prevaleciente de una de estas. Transcurrido el periodo de aclimatación, dos especies fueron identificadas en los cultivos prevalecientes. Estas especies pertenecientes al orden Cyclopoida fueron *Apocyclops panamensis* y *Halicyclops* sp. (Tabla 1).

*A. panamensis* es una especie ampliamente distribuida en parte de América del norte, América Central y Sudamérica. En México ha sido reportado en la Península de Yucatán (Suárez-Morales *et al.*, 2004) en Cozumel (Cervantes *et al.*, 2012), en el mar Caribe y Florida (Suárez-Morales y Mercado Salas 2011). Siendo considerada una especie omnívora.

La segunda especie observada corresponde a *Halicyclops* sp. es un taxa registrado para ambientes salobres siendo un género muy diverso con más de 100 especies de distribución mundial, de las cuales 33 se encuentran en América. De estas, 19 han sido registradas en el mar Caribe y la Florida (Suárez-Morales & Mercado Salas, 2011). En la zona estuarina de Belice y Colombia (Norman, 1903; Reid, 1990; De Rocha, 1995; Fiers, 1995; Fuentes-Reinés y Suárez-Morales, 2019). En México, este género ha sido reportado en la Península de Yucatán (Suárez-Morales *et al.*, 2004) y también en Cozumel por Cervantes *et al.*, (2012). Por otro lado, se muestran algunas de las características que diferencian al género *Halicyclops* de otros; son la ornamentación, así como la longitud de las setas maxilares y del maxilípedo.

Tabla 1. Taxonomía jerárquica de las especies recolectadas según Suárez-Morales (2015) y Walter and Chat (2019).

Nivel	Grado	Referencia	Grado	Referencia
Subclase	Copepoda	Milne-Edwards, 1830.		
Superorden	Podoplea	Giesbrecht, 1882		
Orden	Cyclopoida	Burmeister, 1834		
Familia	Cyclopoidae	Rafinesque, 1815		
Género	<i>Apocyclops</i>	Lindbergh, 1942	<i>Halicyclops</i>	Norman, 1903
Especie	<i>panamensis</i>	Marsh, 1913		

Especies del género *Apocyclops* han sido estudiadas previamente ahondando en sus aspectos poblacionales, de producción masiva y alimentados con diferentes dietas, algunas de las especies que han sido estudiadas son *Apocyclops distans*, *A. royi*, *A. dengizicus* (Velásquez *et al.*, 2001; Pharadian 2008; Pan *et al.*, 2016). En el caso de *A. panamensis* ha sido sometida a ensayos de producción masiva, evaluándose también su potencial nutricional o como dieta natural del camarón (Cano *et al.*, 2004; Phelps *et al.*, 2005; Lindley *et al.*, 2011; Pérez *et al.*, 2006).

*A. panamensis* mostró un mejor desempeño durante esta fase de aislamiento observado por el incremento constante de las diferentes etapas de vida en los tanques de cultivo, razón por

la cual fue considerada la candidata a ser sometida a las distintas evaluaciones productivas y seguimiento poblacional de este trabajo de investigación. Las condiciones generales que se presentaron durante su manejo indican que es fácil de mantener empleado algas de uso común en laboratorios de larvicultura marina como es el caso de las especies *Tetraselmis chuii* y *T. suecica* que se usaron durante su cultivo. Estas especies de algas se consideran adecuadas porque se infiere que copépodos adultos tienen preferencia por algas móviles de mayor tamaño (10µm) y por su capacidad de movilidad que se traduce en menos gasto energético para el depredador, mientras que los nauplios tienen preferencia por algas pequeñas (4µm), como *Nannochloropsis oculata* y son utilizadas en densidades promedio de 10<sup>5</sup> cel/mL. (Stottrup, 2006; Velásquez *et al.*, 2001; Guenther *et al.*, 2015). Por ejemplo, Pérez *et al.*, (2006), encontraron un 15 % de sobrevivencia en la misma especie alimentado con *Nannochloropsis oculata* de la etapa de nauplio a copepodito que son las etapas más pequeñas de los copépodos. Por otro lado, en el cultivo de *A. dengizicus* el alga flagelada *T. tetrathele* presentó los mejores resultados en comparación con algas no móviles, Farhadian *et al.*, (2008). Por otro lado, se pudo observar que *A. panamensis* tolera bien la manipulación y cambios en la calidad del agua que comúnmente se observan en las rutinas de trabajo de laboratorios de larvas donde fue posible mantener los cultivos con un costo de mantenimiento bajo.

#### **Ciclo de vida de *Apocyclops panamensis***

El tiempo generacional de *A. panamensis* a 28 °C-28 de salinidad, es de seis días. La etapa de nauplio ocurre en 2.0 días y la etapa de copepodito en 2.0 días. A partir del día cuatro se diferencian los sexos, alcanzando la condición de adulto maduro en un día más (día 5), pues es posible observar hembras ovadas. En el día seis eclosionan los huevos y se observan nauplios recién eclosionados de una nueva generación.

*Nauplios.* La etapa de nauplio consta de seis fases que transcurren aproximadamente en 48 horas, presentando una longitud promedio que va de 86 µm a 201 µm durante este periodo (Tabla 2). Las etapas naupliares se diferencian entre sí por la talla o aspectos morfológicos (Figura 6). Durante las etapas de nauplio NI y NII, el organismo tiende a tener una forma esférica apreciándose tres pares de apéndices. En las etapas NIII-NVI, la primera y la segunda



antena; así como la mandíbula, y en general el cuerpo se empieza a alargar y pierde la forma esférica de las etapas previas (Suárez-Morales, 2015).

Tabla 2. Información biométrica de *A. panamensis* durante las etapas de nauplio, mostrando la longitud total (LT) y el ancho del prosoma (AP), ambos con su desviación estandar, (DE).

Etapa de vida	LT $\pm$ DE ( $\mu\text{m}$ )	AP $\pm$ DE ( $\mu\text{m}$ )	<i>n</i>
NI	84.0 $\pm$ 1.5	50.7 $\pm$ 0.6	11
NII	104.9 $\pm$ 3.4	66.6 $\pm$ 2.2	11
NIII	122.0 $\pm$ 2.1	73.8 $\pm$ 3.8	8
NIV	152.0 $\pm$ 5.1	83.2 $\pm$ 3.2	10
NV	174.5 $\pm$ 3.9	85.0 $\pm$ 3.1	6
NVI	201.8 $\pm$ 3.1	99.3 $\pm$ 3.0	6

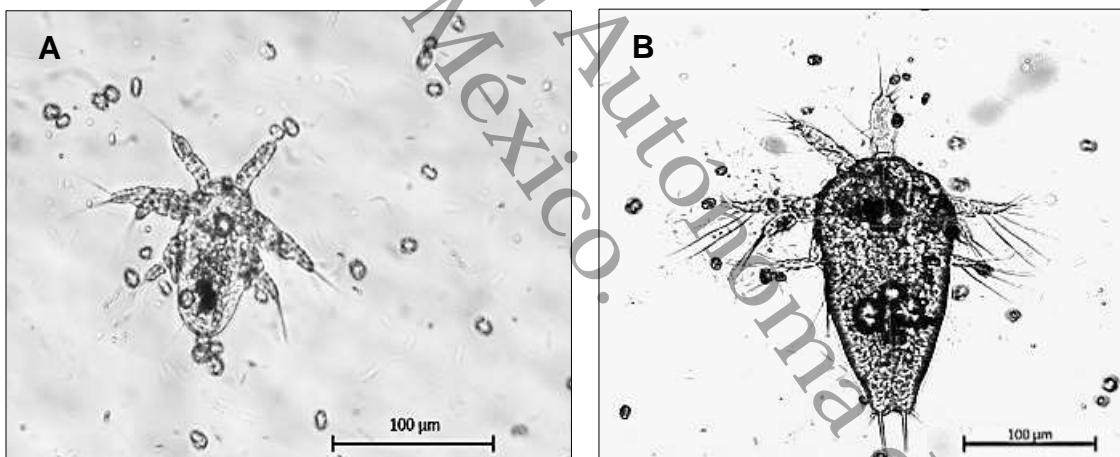


Figura 6. Microfotografías de las etapas naupliares NI (A) y NVI (B) de *A. Panamensis*.

*Copepoditos*. La etapa de copepodito transcurre en 48 horas. La longitud promedio de la etapa CI a CV va de las 248  $\mu\text{m}$  a las 485  $\mu\text{m}$  de LT, mientras que AP de 102  $\mu\text{m}$  a 131  $\mu\text{m}$ , es importante destacar que las hembras adultas son más anchas que los machos adultos. El tamaño y forma de los copepoditos los separan de las etapas naupliares al aparecer apéndices nadadores. Los organismos en esta etapa se caracterizan por presentar similitud a la etapa de

adulto, pero con menor talla. Es fácil identificar claramente los segmentos corporales denominados prosoma, urosoma y la furca caudal.

*Adultos.* El sexo de los ejemplares se reconoce a partir de la etapa CIII, pues en la etapa adulta presentan dimorfismo sexual, observándose una gran diferencia en la primera antena del macho y la hembra. La modificación de la antena en los machos es principalmente para sujetar a la hembra al momento de la cúpula. Por otro lado, el prosoma del macho es más angosto que el de la hembra. Esta condición de dimorfismo se enfatiza que el dimorfismo sexual es más pronunciado en los Cyclopoida que en los Calanoida y Harpacticoida (Suárez-Morales, 2015).

Tabla 3. Información biométrica de *A. panamensis* durante las etapas de copepodito y adulto, mostrando la longitud total (LT) y el ancho del prosoma (AP), ambos con su desviación estandar (DE).

Etapa	LT $\pm$ DE ( $\mu\text{m}$ )	AP $\pm$ DE ( $\mu\text{m}$ )	<i>n</i>
CI	248.0 $\pm$ 12.7	102.1 $\pm$ 2.7	5
CII	300.4 $\pm$ 12.1	104.4 $\pm$ 3.9	5
CIII	327.0 $\pm$ 10.6	107.6 $\pm$ 2.6	5
CIV	377.2 $\pm$ 14.2	129.6 $\pm$ 3.0	6
CV	485.3 $\pm$ 19.4	132.7 $\pm$ 2.0	4
CVI Hembra	619.0 $\pm$ 14.2	179.8 $\pm$ 7.6	7
CVI Macho	614.0 $\pm$ 33.5	131.5 $\pm$ 2.1	4

Respecto a los adultos; las hembras registraron una LT mínima de 600  $\mu\text{m}$  mientras que la LT máxima fue de 645  $\mu\text{m}$ , el valor de AP mínimo fue de 169  $\mu\text{m}$  y el mayor de 193  $\mu\text{m}$ . En los machos adultos la LT mínima fue de 564  $\mu\text{m}$  mientras que la máxima fue de 634  $\mu\text{m}$ , mostrando un valor de AP mínimo de 129  $\mu\text{m}$  y el máximo de 135  $\mu\text{m}$ .

La hembra una vez diferenciada, pasa a su etapa adulta en un día, se caracteriza por que lleva dos sacos laterales de huevos en el urosoma, los huevos son esféricos con un diámetro promedio de 65.0  $\mu\text{m} \pm 2.7$ , ( $n=12$ ), mientras que el número promedio de huevos en este estudio por hembra es de 20  $\pm 2.5$ , ( $n=12$ ). Estos huevos se mantienen dentro de los sacos y

son parcialmente liberados. Dependiendo de las condiciones prevalecientes en el cultivo, se observó que la hembra desprende los huevos cuando existen cambios bruscos en la salinidad, temperatura o manipulación excesiva.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

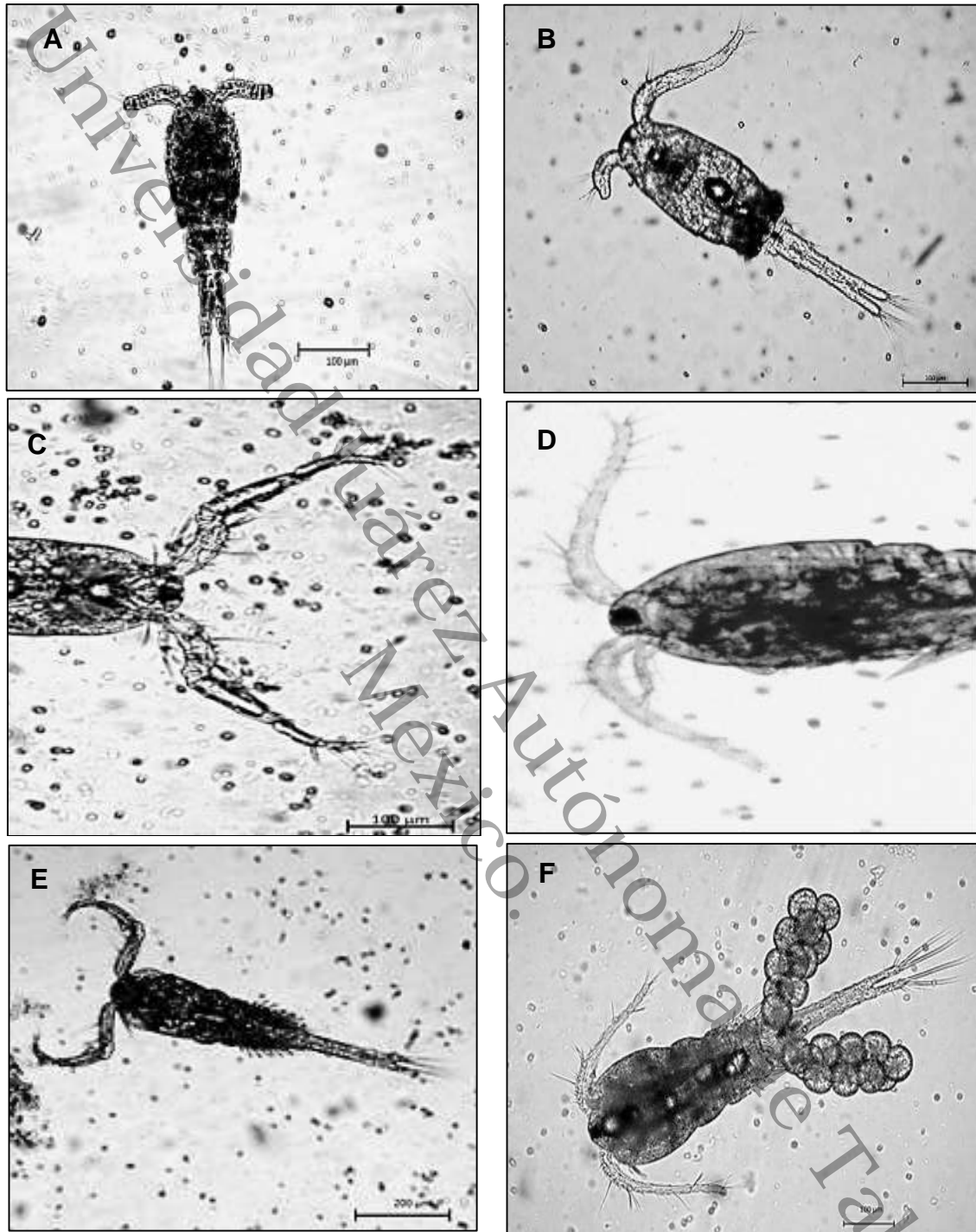


Fig 7. Microfotografías de *A. Panamensis* donde se observan marcadas diferencias en el tamaño del organismo entre la etapa Cl (A) y CV (B). La antena del macho adulto (C) modificada para retraerse y la de la hembra adulta de forma angular (D). Estas características son más evidentes en el macho adulto (E) y Hembra ovígera (F).

## CONCLUSIONES

A partir de muestras de zooplancton recolectadas en la desembocadura de la laguna Mecoacán, ubicada en el municipio de Paraíso, Tabasco se aislaron los copépodos Cyclopoida *Apocyclops panamensis* y el copépodo *Halicyclops* sp., que prevalecieron en las condiciones de manejo comunes para uso acuícola.

*A. panamensis* fue la especie que se observó con un mejor desempeño respecto al crecimiento poblacional al mostrar su manejo relativamente fácil en condiciones de cultivo en laboratorio comparada con el taxa *Halicyclops* sp. Que presentó hábitos bentónicos y limitado crecimiento poblacional, por lo que no se continuó su seguimiento.

La especie *A. panamensis* mostró características omnívoras en su alimentación y tiene hábitos planctónicos, se puede alimentar con diferentes especies de microalgas de uso acuícola comercial e inclusive con levadura de panificación.

El ciclo generacional de *A. panamensis* a 28 °C-28 de salinidad, transcurre en 6.0 días. La etapa de nauplio ocurre en 2.0 días, la etapa de copepodito en 2.0 días. A partir del día 4 se diferencian los sexos, alcanzando la condición de adulto maduro en 1.0 día más (día 5), pues es posible observar hembras ovadas. En el día 6 eclosionan los huevos y se observan nauplios recién de una nueva generación.

## REFERENCIAS

- Anzueto-Sánchez, M. A. (2014). Efecto de la dieta y la temperatura en los parámetros poblacionales y en el valor nutricional del copépodo *Pseudodiaptomus euryhalinus* cultivado en laboratorio. CICESE. Tesis de doctorado. Ensenada Baja California 82pp.
- Boltovskoy, D. (ed), (1981). Atlas del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Publ. Especial INIDEP, Mar del Plata, 936 pp.
- Boxshall, G.A. y Defaye, D. (2008). Global diversity of copepods (Crustacea: Copepoda) in freshwater. *Hydrobiologia* 595, 195–207.
- Cano RRS, Hooker E. (2004). The natural diet of *Apocyclops panamensis* at a shrimp farm on the Pacific coast of Nicaragua. *Zoological studies*, 43: 344-349.
- Cervantes Martínez, A., Aguirre, G., Blas, D., Ramírez, R., & Denissecoaut, J. (2012). Especies de zooplancton dulceacuícola de Cozumel (No. Q/592.097267 E8).
- Da Rocha, C. E. F. (1995). Copepods of the genus *Halicyclops* (Cyclopidae) from Belize. *Hydrobiologia*, 308(1), 1-11.
- Estado Mundial de la Pesca y La Acuicultura (2018). FAO: Rome, Italy, ISBN 978-92-5-130688-8. 32p.
- Farhadian, O., Yusoff, F. M., & Arshad, A. (2008). Population growth and production of *Apocyclops dengizicus* (Copepoda: Cyclopoida) fed on different diets. *Journal of the World Aquaculture Society*, 39(3), 384-396.
- Farhadian, O., Yusoff, F. M., & Arshad, A. (2008). Population growth and production of *Apocyclops dengizicus* (Copepoda: Cyclopoida) fed on different diets. *Journal of the World Aquaculture Society*, 39(3), 384-396.
- Fiers F. (1995). *Halicyclops caneki* N.sp. (Copepoda, Cyclopoida) from Celestún Lagoon (Yucatán, Mexico). *Belgian Journal of Zoology*.125(2):301-313.
- Fuentes-Reinés J, Suárez-Morales E. (2020). A new species of *Halicyclops* (Copepoda, Cyclopoida, Halicyclopinae) from an estuarine system of the Caribbean Coast of Colombia. *Acta Biológica Colombiana*. 25(1): XX-XX.
- Guenther, M., Durst, R., Felismino, W. S., Pessoa, V. T., & Neumann-Leitão, S. (2015). Feeding ecology of *Apocyclops procerus* (Copepoda, Cyclopoida) under experimental conditions. *Crustaceana*, 88(3), 283-297.

- Hall, C.J. & Burns, C.W. (2001). Effects of Salinity and Temperature on Survival and Reproduction of *Boeckella hamata* (Copepoda: Calanoida) from a Periodically Brackish Lake. *Journal of Plankton Research* 23, 97-103.
- Hopkins, T.L. (1982). The vertical distribution of zooplankton in the eastern Gulf of México. *Deep-Sea Oceanographic Research Papers*, 29(9): 1069-1083. doi: 10.1016/0198-0149(82)90028-0.
- Jon, C.E. (2009). Evaluation of the calanoid copepod *Pseudodiaptomus pelagicus* as a first feed for Florida pompano, *Trachinotus carolinus*, larvae (Doctoral dissertation, University of Florida).
- Kahan D, Uhlig G, Schwenzer, D, Horowitz L (1982). A simple method for cultivating harpacticoid copepods and offering them to fish larvae. *Aquaculture*, 26: 303-310.
- Lindley LC, Phelps, RP, Davis DA, Cummins KA 2011. Salinity acclimation and free amino acid enrichment of copepod nauplii for first-feeding of larval marine fish. *Aquaculture*. 318: 402-406.
- Marshall, A. J. (2002). The culture of copepods as live food for marine fish larvae [Doctoral dissertation]. Australia: University of Tasmania.
- Norman, A. M. (1903). New generic names for some Entomostraca and Cirripedia / by A.M. Norman. *Annals and Magazine of Natural History*. 11(7): 367-369.
- Pan, Y. J., Souissi, A., Souissi, S., & Hwang, J. S. 2016. Effects of salinity on the reproductive performance of *Apocyclops royi* (Copepoda, Cyclopoida). *Journal of experimental marine biology and ecology*, 475, 108-113.
- Pérez I. E., Gómez N.S. & Puello CAC. (2006). Efecto de diferentes dietas de microalgas sobre la supervivencia y crecimiento de *Apocyclops* aff. *panamensis* (Marsh, 1913), (Copépodo: Cyclopoida) cultivado bajo condiciones controladas de laboratorio. *Rev Elec de Vet* 7:1-10.
- Phelps R. P, Sumiarsa S, Lipman, EE, Lan HP, Moss KK, Davis AD. (2005). Intensive and extensive production techniques to provide copepod nauplii for feeding larval red snapper *Lutjanus campechanus*. *Copepods in aquaculture*, 151-168.
- Prieto, M., Castaño, F., Sierra, J., Logato, P., & Botero, J. (2006). Alimento vivo en la larvicultura de peces marinos: copéodos y mesocosmos. *Revista MVZ Córdoba*, 11(1),30-36.

- Reid J. W. Continental and coastal free-living Copepoda (Crustacea) of Mexico, Central America and the Caribbean Region. In Navarro L. Robinson JG. Editors. *Diversidad Biológica en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México*. Centro de Investigaciones de Quintana Roo (CIQRO) and Program of Studies in tropical Conservation (PSTC, University of Florida; Chetumal, Quintana Roo), Mexico: 1990; pp. 175–213.
- Stttrup. J. G. (2006). Review on the Status and Progress in Rearing Copepods for Marine Larviculture. Advantages and Disadvantages. Among Calanoid, Herpacticoid and Cyclopoid Copepods. En: Editores L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Villareal Cavazos, Ana C. Puello Cruz y Armando García ortega. *Avances en Nutrición Acuicola VIII*. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 15-17. Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. ISBN 970-694-333-5.
- Suárez-Morales E. (2015). Class maxillopoda. In Thorp and Covich's *Freshwater Invertebrates*. Academic Press. pp. 709-755.
- Suárez-Morales, E., & Mercado-Salas, N. (2011). *Diversidad y Distribución de los copépodos (Cyclopoida) de las zonas áridas del Centro-Norte de México*. El Colegio de la Frontera Sur-Unidad Chetumal (ECOSUR). Departamento de Ecología y Sistemática Acuática. Dirección de Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio de Zooplancton. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. GT034. México, DF.
- Suárez-Morales, E., Reid, J. W., Fiers, F., & Iliffe, T. M. (2004). Historical biogeography and distribution of the freshwater cyclopine copepods (Copepoda, Cyclopoida, Cyclopinae) of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of Biogeography*, 31(7), 1051-1063.
- Torrentera, L. & Tacon, A. (1989). *La producción de alimento vivo y su importancia en acuicultura*. Programa Cooperativo gubernamental FAO-Italia. GCP/RLA/075/ITA.DOC. No. 12, 90.
- Vanacor-Barroso M, Carvalho CVAD, Antoniassi R, Ronzani-Cerqueira V. (2017). The copepod *Acartia tonsa* as live feed for fat snook (*Centropomus parallelus*) larvae from notochord flexion to advanced metamorphosis. *Latin american journal of aquatic research*. 45: 159-166.



Velásquez A, Rosas J, Cabrera T, Millán J, Hernández M. (2001). Efecto de *Tetraselmis chuii*, *Nannochloris oculata* y *Dunaliella salina* sobre el crecimiento poblacional de *Apocyclops distans* (Copepoda, Cyclopoidae) en diferentes condiciones de temperatura e iluminación. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 36: 189-197.

Walter, T.C.; Boxshall, G. (2019). World of Copepods database. *Halicyclops Norman*, 1903. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=106433> on 2019-12-12.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

CAPITULO IV

ARTÍCULO CIENTÍFICO

**Population growth of a generational cohort of the copepod  
*Apocyclops panamensis* (Marsh, 1913) under different  
temperatures and salinities.**

Enviado y aceptado en la revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios (ERA).

**Cruz-Rosado L, Contreras-Sánchez WM, Hernández-Vidal U, Perez-Urbiola JC,  
Contreras-García MJ (2020) Population growth of a generational cohort of the  
copepod *Apocyclops panamensis* (Marsh, 1913) under different temperatures  
and salinities. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 7(2): e2505. DOI:  
10.19136/era.a7n2.2505**

**Population growth of a generational cohort of the copepod *Apocyclops panamensis* (Marsh, 1913) under different temperatures and salinities**

**Leonardo Cruz-Rosado<sup>a</sup>, Wilfrido M. Contreras-Sánchez<sup>a</sup>, Ulises Hernández-Vidal<sup>a\*</sup>,  
Juan Carlos Perez-Urbiola<sup>b</sup>, and María de J Contreras-García<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, km. 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas s/n entronque a Bosques de Saloya, C.P. 86039, Villahermosa, Tabasco, México

ORCID ID [orcid.org/0000-0002-8142-4010](https://orcid.org/0000-0002-8142-4010). Email: [leorosado123@live.com.mx](mailto:leorosado123@live.com.mx)

ORCID ID [orcid.org/0000-0001-8072-2182](https://orcid.org/0000-0001-8072-2182). Email: [contrerw@hotmail.com](mailto:contrerw@hotmail.com)

ORCID ID [orcid.org/0000-0001-6722-3610](https://orcid.org/0000-0001-6722-3610). Email: [uliseshv44@hotmail.com](mailto:uliseshv44@hotmail.com)

ORCID ID [orcid.org/0000-0003-2282-9306](https://orcid.org/0000-0003-2282-9306). Email: [contrer\\_mar@hotmail.com](mailto:contrer_mar@hotmail.com)

<sup>b</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, P.O. Box 128, La Paz, B.C.S. 23000, México

ORCID ID [orcid.org/0000-0003-2305-977X](https://orcid.org/0000-0003-2305-977X). Email: [jperez@cibnor.mx](mailto:jperez@cibnor.mx)

\*Corresponding author: División Académica de Ciencias Biológicas. Km 0.5, Carretera Villahermosa-Cárdenas, Entronque a Bosques de Saloya. Villahermosa, Centro, Tabasco. CP 86039. Tel. 52 (993) 358 1500 ext. 6425. \*email address: [uliseshv44@hotmail.com](mailto:uliseshv44@hotmail.com)

## Abstract

This study was carried out to identify the effects of salinity and temperature during *Apocyclops panamensis* culture, fed with *Tetraselmis chuii*. The experiment was conducted in laboratory conditions for 14 days. Nauplii from the same cohort were used to start the experiment, using a density of 1 ind mL<sup>-1</sup> in a volume of 400 mL. The feed consisted of a daily supply of 20,000 cell mL<sup>-1</sup> of microalgae. Nine treatments with three replicates were evaluated; (24°C-28‰; 24°C-32‰; 24°C-36‰; 28°C-28‰; 28°C-32‰; 28°C-36‰; 32°C-28‰; 32°C-32‰; and 32°C-36‰). The factorial ANOVA indicates that temperature had a significant effect on the abundance of total copepods at day 14 ( $p = 0.02$ ), while salinity did not show a significant effect ( $P = 0.06$ ) on the total population of *A. panamensis*.

Significant effects of temperature ( $p < 0.01$ ) and salinity ( $p < 0.001$ ) were observed for the nauplii population. The best growth of the entire population was reached in the treatment 32°C-28‰, with a population of 1,380.95 ind L<sup>-1</sup> ( $\pm 1267.06$ ) at the end of the experiment. Treatments 32°C-28‰ and 32°C-32‰ produced the highest average population of nauplii and copepodites at the end of the experiment. Adult females presented the greatest abundance in the 32°C-32‰ treatment with 214.29 ind L<sup>-1</sup>, adult males increased between days 11 and 14 in treatments 24°C-28‰, 32°C-28‰, and 32°C-32‰ without exceeding 170 ind L<sup>-1</sup>. In this study, it is evident that *A. panamensis* prefers warm temperatures and brackish environments.

**KEYWORDS:** *Apocyclops panamensis*; Salinity; Temperature; Copepod culture.

## **Introduction**

Planktonic organisms are the basis of the food chain in marine and continental water bodies (Bolstovskoy 1981). In marine aquaculture, the use of zooplankton as live food is essential and takes on greater importance during the larval phase, highlighting that it is the best nutritional alternative for the larvae, providing higher survival (Torretera and Tacon 1989). In the marine environment, copepods are the most dominant, abundant and widely distributed group of microcrustaceans on the planet, sometimes representing up to 80% of the total plankton (Hopkins 1982).

In marine fish culture, rotifers of the genus *Brachionus* are the most used conventional live food for feeding larvae. As they are very active and small-sized organisms, they attract the attention of their predators, allowing them to be easily captured. In addition, by having a high reproduction rate, short life cycle and feeding based on algae, their cultivation is considerably facilitated (Sánchez-Estudillo, 2011; Luna et al. 2018). However, these organisms do not necessarily complete the nutritional requirements for the optimal development of the marine fish larvae that consume them, generating limited growth. All this can lead to high mortality, possibly due to incomplete nutrition and poor development of the digestive system of the larvae (Prieto 2006; Prieto and Atencio 2008).

Mass production of copepods has been proposed as an alternative to good quality live food in aquaculture (Suárez-Morales 2000; Prieto et al. 2006; Suárez Morales et al. 2009; Rasdi and Qin 2016). This proposal takes up the principle that the nutritional value of most copepods is high, and their movement patterns provoke a strong food response in larvae of diverse predatory fish species. Other advantages of using copepods as food are high digestibility, small size, and tolerance to good densities during culture. The simple fact that they are part of the natural food of larvae in the wild allows their use in marine fish culture to promote increases in growth, survival, and quality of the larvae that consume them (Prieto et al. 2006; Stottrup 2006; Schipp 2006; Puello-Cruz et al. 2008).

It is important to consider that both, rotifers enriched with fatty acids and copepods can be administered in the fish larvae, increasing the possibility of larval survival. The copepod can be considered as a nutritional supplement rich in fatty acids.

The quantity, temporality, size, and quality of live food during larval period are critical to the successful production of marine fish fingerlings. An example of a culture strategy that

combines several of these aspects is the so-called mesocosm culture, which has shown promising results by offering a variety of prey that facilitates the larval food transition by imitating what occurs in the wild, and where copepods are a fundamental element (Prieto et al. 2006).

The relationship between potential prey and larval selectivity can be approximated by the spatial-temporal coincidence of the two organisms at the spawning sites. An example of this is that the sea herring (*Clupea harengus*) in its larval stage coexists with a high abundance of zooplankton (Álvarez-Fernández et al. 2015). The Gulf of Mexico (GM) is no exception because it is also considered an important marine fish spawning area determined by its abundance of larvae (Flores-Coto et al. 2009). Cruz-Rosado et al. (in review) observed that copepods are the dominant group -reaching relative abundances between 60 and 90%- coinciding with the presence of fish larvae in spawning grounds of *Centropomus* spp evidenced by Hernandez et al., 2014. This event suggests that some of the zooplankton species present, including numerous copepods, play an essential role in nutrition and consequently in larval recruitment in the area.

The copepod *Apocyclops panamensis* is a species present in these spawning areas on the coasts of the Gulf of Mexico, so that may conform part of the diet of fish larvae in the region. Preliminary studies indicate that it has the potential to be used as live food since it is resistant to manipulation in captivity, been proposed as a candidate for mass cultivation (Payne et al. 2001; Phelps et al. 2005; Lindley et al. 2011). However, the environmental conditions for developing the biotechnology for cultivation on a pilot scale are still unknown. For this reason, the objective of this work was to define the effects of salinity and temperature on the population growth of *A. panamensis* under an aquaculture management scheme that could optimize and eventually allow to scale-up production and prove its effectiveness as live food for marine fish species present in the same distribution range.

## **Material and methods**

This research was carried out in the facilities of the Tropical Aquaculture Laboratory (TAL) of the Biological Sciences Academic Division at the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

*Collection and preliminary cultivation of zooplankton.* Three zooplankton collection trips were made to the coastal zone in Jalapita, municipality of Centla, Tabasco, Mexico, identified as centropomid spawning areas (Gilmore et al. 1983; Hernández-Vidal et al. 2014). The collection sites covered an area ranging from 18°28'34.71"N-92°58'7.34"O to N°18°26'26.43"- 93°8'4.58" W, the furthest collection site is 4.7 km from the coastline, and the nearest is approximately 0.2 km from the mouth of the Mecoacán coastal lagoon. Surface trawls (1-2 m deep) were conducted using a 120 µm mesh plankton net. The zooplankton was placed in 500 mL<sup>-1</sup> capacity glass jars with water from the sampling site and then moved to the TAL at low temperature in an icebox. In the laboratory, the living material was screened with a 500 µm sieve to remove larger organisms and predators. The remaining organisms were placed in two fiberglass culture tanks with a capacity of 70 L and were maintained at an average temperature of 25.7 ± 1.13 °C and pH of 7.96 ± 0.05 using seawater at the same salinity of the collection site (32‰). The water was previously filtered with 2µm and treated for 10 min with a commercial solution of sodium hypochlorite to reach the concentration of 45ppt and later neutralized by adding 250 mg of sodium thiosulfate L<sup>-1</sup>. The cultures were fed daily with a mixture of the microalgae *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, and *T. suecica* supplying a total of 8 million cells per experimental unit, equivalent to a density of 20,000 cells mL<sup>-1</sup>. After 20 days of culture the prevailing zooplankton was recovered with a 50 µm sieve that was again maintained for 30 days in conditions similar to those described above.

*Isolation and identification.* The isolation of the prevailing copepod species began by separating adult specimens. These organisms were concentrated using a 50 µm sieve and under the stereoscopic microscope, and ten adult organisms were isolated. The isolated organisms were kept in 1L-flasks and fed with the previously mentioned algal mixture. This separation of adult organisms was carried out on three occasions, and the organisms were reseeded in new flasks. Samples were fixed in 96% alcohol added with two drops of glycerin in 5mL-tubes. Subsequently, they were sent for determination to the Department of Systematics and Aquatic Ecology at El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) Chetumal Unit, coordinated by Dr. Eduardo Suarez Morales, who determined that the isolated species was *Apocyclops panamensis*. The primary culture was obtained by progressively increasing

the volume from the 1L-culture flasks and maintaining the culture conditions previously described.

*Experimental design.* To evaluate population growth, a completely randomized factorial experiment was carried out with three temperature levels (24, 28, and 32 °C) and three salinity levels (28, 32, and 36‰), resulting in nine treatments, each with six replicates. The experimental units consisted of 0.5L capacity glass flasks containing a working volume of 400 mL. The culture containers were disinfected by washing with a 0.01% sodium hypochlorite solution. To achieve and maintain desired temperatures, the experimental units were placed inside 100L polyethylene tanks, equipped with two 500-watt and controlled with a thermostat (AQUA-KRIL<sup>®</sup> 4160 Mexico). Seawater (35‰) was used, previously treated with sodium hypochlorite, and neutralized with sodium thiosulfate. The seawater was diluted with sterilized freshwater to reach the salinity of 28 and 32‰, to adjust the salinity of 36‰, commercial sea salt was used (Coral Pro-Red Sea<sup>®</sup>, USA). All experimental units were maintained under a photoperiod of 12h:12h (light-dark) controlled with an automatic timer (TEMP 24-HE, STEREN<sup>®</sup> Mexico). pH and water temperatures were measured daily using a probe (EcoSense pH10A, YSI USA), while a refractometer was used to measure salinity (Aqua fauna<sup>™</sup> Bio-Marine Inc. Hawthorne, CA, USA). Ammonium (NH<sub>3</sub>), nitrites (NO<sub>2</sub>), and nitrates (NO<sub>3</sub>) concentration were measured at the beginning and, subsequently, every five days by colorimetric kits using an aquaculture photometer (HI 83203, HANNA Instruments, USA).

*Copepod stocking.* A cohort of nauplii was obtained from the main population and separated using a 200 µm mesh sieve to discard copepodites and adult organisms. The nauplii were placed in a glass beaker with sterilized seawater and the density reached was estimated. Before stocking, the seeds were first acclimated to the desired salinity by decreasing or increasing one unit per hour, and then to temperature, by placing the nauplii in 1L flask one hour prior to stocking in each tank with the corresponding temperature. Each experimental unit was stocked with one ind mL<sup>-1</sup> for a total of 400 individuals per bottle based on the recommendations of Velásquez et al. (2001).

*Feeding.* The feeding was carried out using the microalgae *Tetraselmis chuii*, according to Osorio-Galindo (1998). Initially, each unit was supplied with a total of 8 million cells, equivalent to a density of 20,000 cells mL<sup>-1</sup>. Cultures were used in their maximum growth



phase (5-6 days), and the algal density was maintained by counting twice a day and adjusting the preset density when necessary. Microalgae cultures were produced in the Live Food Production Area of the Tropical Aquaculture Laboratory (LAT) at DACBIOL using commercial culture medium (PROLINE<sup>®</sup>), the cultures were maintained at constant illumination with fluorescent lamps from 2000 to 2500 lux and at a temperature of  $24 \pm 1.0$  °C.

*Counting.* Counts of copepods were performed every third day, taking seven one mL samples from each experimental unit. The sample was counted using a Bogorov counting chamber (Wildlife Supply model 1810-B20EI) under a stereoscopic microscope (ZEISS<sup>®</sup> model Stemi DV4). The stages identified in the culture count were nauplius, copepodite, non-ovigerous female, ovigerous female, and adult male. In addition, the eggs present in the ovarian sacs of the females were counted. The last evaluation of the population was carried out on the 14th day after sowing, which concluded the experiment.

*Statistical analysis of data.* The number of organisms per stage was calculated for each treatment, and with the sum of all stages, the value of total copepods (TC) per liter was estimated. After normality and homogeneity of variances were verified (Bartlett's test). The counts at the end of the experiment were compared using a factorial analysis of variance (ANOVA). Significance was determined at the 95% confidence level ( $\alpha = 0.05$ ). All ANOVAs were performed using the software Statgraphics Centurion XVIII<sup>®</sup>. The graphical representation of the data was done in SigmaPlot v.11<sup>®</sup> package. Results are presented in average values per Liter ( $\pm$  Standard Deviation).

## **Results**

*Environmental conditions during the experiment.* The environmental conditions recorded throughout the experiment were favorable for the development of copepods. The temperature varied slightly around the experimental values. The average temperatures prevailing along the experimental units were  $24.24 (\pm 0.19)$ ,  $27.86 (\pm 0.43)$ , and  $31.75 (\pm 0.27)$ . We managed to keep salinity close to the values designated for the study ( $28 \pm 0.18$ ,  $32 \pm 0.34$  and  $36 \pm 0.32$ ) by monitoring twice a day, and replacing evaporated water.

*Total counts.* Results from the factorial ANOVA indicate that the temperature had a significant effect on the overall abundance of organisms in the population assessed at day

14 ( $p = 0.02$ ) and suggests that the evaluated salinities did not have a significant effect on *A. panamensis* production ( $P = 0.06$ ). In this analysis no effect of the interaction of the factors studied was observed ( $P > 0.05$ ). The effect of temperature was that, at a temperature of 32 °C, more organisms were obtained ( $888.89 \pm 414.28$  ind L<sup>-1</sup>) being significantly lower at temperatures of 24 and 28°C ( $293.65 \pm 285.72$  and  $357.14 \pm 264.70$  ind L<sup>-1</sup>, respectively) (Fig. 1A). Although salinity was not statistically significant, a distinctive pattern of decrease in the total number of copepods (TC) can be observed as salinity increases, resulting in  $722.22 (\pm 428.57)$ ,  $500.00 (\pm 357.14)$  and  $317.46 (\pm 214.29)$  ind L<sup>-1</sup> for salinities of 28, 32 and 36‰, respectively (Fig. 1B). At the level of specific treatments, the results of TC indicate that the best productivity of this species at the end of the experiment is reached in treatments 32°C-28‰, with a production of  $1,502.00 \pm 457.74$  ind L<sup>-1</sup> and 32°C-32‰ where  $904.76 \pm 576.17$  ind L<sup>-1</sup> were obtained (Fig. 2). When evaluating the effects on the number of copepodites, non-ovigerous females, ovigerous females and males at the end of the experiment, no statistically significant effects of the factors evaluated or their interaction were observed ( $p > 0.10$  in all cases). The specific observations for each group of organisms allowed to follow the trends that contribute so that the treatments 32°C-28‰ and 32°C-32‰ have reached the highest total populations at the end of the experiment.

*Nauplii*. The factorial ANOVA for the number of nauplii indicated significant effects of temperature ( $p = 0.006$ ) and salinity ( $p = 0.001$ ), with no interaction between these factors ( $p > 0.10$ ). The 32°C-28‰ treatment had the highest average number of nauplii recorded at the end of the experiment, reaching an average of  $738.09 \pm 602.15$  ind L<sup>-1</sup>. The rebound of this treatment began on day eight, when the population reached  $452.38$  ind L<sup>-1</sup>, by day eleven, the population already had  $1142.86$  ind L<sup>-1</sup>. This trend was also observed in the 32°C-32‰ treatment, although it was not as pronounced as the previous treatment. In the rest of the treatments, the highest populations did not exceed 400 nauplii L<sup>-1</sup>, the lowest results being those associated with temperatures of 24°C (Fig. 3A).

*Copepodites*. In general, all treatments showed ups and downs along the trial. The only tendency of increase was observed in treatment 32°C-28‰ for day 11, having in average  $190.47 \pm 233.28$  ind L<sup>-1</sup> and reaching  $333.33 \pm 147.54$  ind L<sup>-1</sup> on day 14. All other treatments remained below 150 ind L<sup>-1</sup> (Fig. 3B).

*Adult females.* The trend analysis of females includes non-ovigerous females and ovigerous females, showing high variability in the recorded data. The highest values at the end of the experiment correspond once again to treatments 28°C-32°C-32‰ and 32°C-28‰ averaging  $166.67 \pm 167.01$  and  $119.04 \pm 140.46$  ind L<sup>-1</sup>, respectively. The rest of the treatments presented less than 75 ind L<sup>-1</sup> (Fig. 4A).

*Adult males.* The number of adult males remained constant throughout the experiment, with consistent increases observed towards days 11 and 14 in three treatments (24°C-28‰, 32°C-28‰, and 32°C-32‰) however, none of them exceeded 170 ind L<sup>-1</sup>. The 24°C-28‰ treatment presented the lowest average number of males with 23.81 ( $\pm 3.04$ ) ind L<sup>-1</sup> on day 14 of the experiment (Fig. 4B).

*Female: male ratio.* This ratio fluctuated considerably throughout the experiment. During the first five days, no adults were observed in the samplings; these were differentiated from day eight. The highest proportion of females was observed in treatments 28°C-32‰ and 32°C-28‰ reaching up to six females per male. These values decreased on day 11, with the highest proportion in the treatment being 28°C-32‰ with five females per male. At the end of the experiment (day 14), the ratio female: male varied in treatments between 0.29 and 3.0, averaging between treatments 1.1 females per male.

## Discussion

The population trends observed during 14 days starting from a cohort of nauplii indicate that *Apocyclops panamensis* grow well under temperatures near 32°C and salinities ranging from 28 and 32‰. *A. panamensis* is one of the few species of cyclopoids cultured in the laboratory and recommended for aquacultural practices; however, despite this recommendation, little is known about the specific environmental requirements for this copepod species ubiquitous in the neotropical region (Suárez-Morales et al. 2004). The fact that the two best treatments correspond to the temperature of 32°C indicates that this species has better performance under the upper range of temperatures measured in warm-tropical environments. In recent years, we have recorded an average of 29.5°C for the warmest months of the year (September-October) near the sites where *A. panamensis* was collected for the current study, and this corresponds a shallow coastal habitat where is possible to reach high temperature during sunny and wind calm days. Our study suggests

that *A. panamensis* like most copepods, display a wide tolerance range for temperature fluctuations.

There is a variety of information regarding the effects of temperature on copepod populations, but the leading theory focuses on the direct effects of temperature on fecundity and growth. Warm temperatures promote a fast life cycle, which can translate into high population growth in a short period; this is possible because the duration of the developmental stages and molting rates are physiological processes that are primarily dictated by temperature (Hirst and Bunker, 2003). Proof of this is that many tropical Cyclopoid copepods have life cycles lasting from four to five days, making them susceptible to mass cultivation (Su et al. 2015). While some species can acclimatize to temperatures outside their normal ranges without inhibiting their reproductive potential (Verbitsky et al. 2017), other species make reproductive adjustments, for example, *Pseudodiaptomus euryhalinus* - a temperate climate species - decreases the number of eggs produced by females in warm temperatures (Osorio-Galindo 1998). Similar results have been reported for *A. distans*, a species belonging to the same genus, whose highest population growth was achieved under a temperature range of 26 to 33.8°C.

Salinity is another of the environmental parameters that strongly influence the ecological and biological responses of copepods (Pan et al. 2016). In this experiment, it becomes evident that *A. panamensis* is well adapted to a relatively wide range of salinities; however, population growth displays best results at 28‰, particularly for the naupliar stage. This species is considered euryhaline, since it has been reported in environments ranging from the oligohaline condition that occurs in coastal lagoons and estuaries to hypersaline waters in semi-desert areas of North America, (Cano et al. 2004; Pérez et al. 2006; Reid and Hribar, 2008; Annabi-Trabelsi et al. 2011). The wide tolerance of the species has also been demonstrated by being collected in salinity of 6.6‰ and later successfully acclimatized to 30‰ (Lindley et al. 2011). It is inferred that it is a species that tolerates wide ranges of salinity, with preference for brackish water as observed in this experiment. Even though euryhaline species can survive under a wide range of salinities, reproductive performance can be affected severely depending on this parameter leading to unsustainable population growth and ultimately result in copepod mortality (Pan et al. 2016). Reid (2002) considered that the genus Apocyclops is so ubiquitous that can be observed dominating

plankton communities in coastal lagoons, saline lakes, and coastal marshes. However, it is frequently associated to salinities under 30‰. In our experiment, all treatments having 32‰ resulted in reduced production of nauplii. This response to higher salinity levels is explained by Kimmel and Bradley (2001) and Pan et al. (2016) as a result of a shift in the energy budget for reproduction towards energy needed for adjusting the metabolism required for osmoregulation.

The fact that we have registered population growth in the various conditions evaluated is proof of the vast adaptive capacity of *A. panamensis*. In general for this group of organisms it is known that adults have tolerance to several factors considered adverse as well as their latency stages, since this facilitates dissemination by means of birds and wind, which could be the explanation of the successful colonization of contrasting environments in which they have been found, although little is known about the physiological and ecological mechanisms that allow copepods to reside in these environments (Anufriieva 2015).

In the best treatment of this study (32°C-28‰), it was observed that the population grew 3.4 times in 14 days, reflecting rapid growth. These results are similar to other studies where Cyclopoid production has commonly been generated from 1 to 5 times the amount inoculated (Pérez et al. 2006; Pharadian et al. 2008; Ruíz-Guzmán et al. 2012). In an extreme case, Velásquez et al. (2001) reported a growth in the culture of *A. distans* of up to 27 times what was stocked during ten days using ambient temperature (26.0 - 38.8°C), salinity around 40 ‰ and total darkness for their best treatment.

The high productivity observed in our treatments mainly reflects the number of nauplii obtained, which are the objective for the aquaculture of fish larvae. The obtained productivity of 738 nauplii L<sup>-1</sup> is higher than that reached by Lipman (2001) who reported together nauplii and copepodites with 733 L<sup>-1</sup>, in the same period of study (14 days). On the other hand, Phelps et al. (2005) in the experimental culture of *A. panamensis* used adult copepods in initial densities of 320, 1,280 and up to 5,120 adults L<sup>-1</sup> using plastic bags with capacity of 40L, for a period of 4 to 9 days, reaching 16,942 nauplii L<sup>-1</sup> in the maximum density of adults stocked.

Another factor that could have contributed to the productivity observed in *A. panamensis* is the type of food used. *Tetraselmis chuii* is considered an excellent food alternative for copepods, because they are mobile flagellated algae of considerable size, having a

notorious preference in comparison with non-mobile algae. Velásquez et al. (2001) obtained the best production values of nauplii in *A. distans* using *Tetraselmis chuii* when compared with *N. oculata*. The cell density used in this study can be considered as low (20,000 cell mL<sup>-1</sup>) compared to other studies where 50,000 cell mL<sup>-1</sup> (Pérez et al., 2006) to 600,000 cell mL<sup>-1</sup> (Mujica et al. 1995) are used. Velásquez et al. (2001) used algae densities of 300,000 cell mL<sup>-1</sup> of *T. chuii* to feed *A. distans*, while Ruíz-Guzmán et al. (2012) obtained the best results in the cultivation of *Cyclopina* sp. with the combination of *T. suecica* and *Isochrysis galbana*. The cell density of 600,000 cell mL<sup>-1</sup>, gave favorable results in the culture of *Tigriopus* sp. supplying *Nannochloropsis* sp. (Mujica et al. 1995). Phelps et al. (2005) cultivated *A. panamensis* using a cell density of 500,000 cell mL<sup>-1</sup> using the microalgae *Isochrysis galbana*. The production of *A. panamensis* could be improved by using a varied diet, possibly favoring the productivity of copepod crops compared to feeding using a single species. This can be attributed to the high content of polyunsaturated fatty acids provided by the mixtures (Farhadian 2008). Alternatively, these algal diets can be improved by supplying other food sources such as flours of vegetable and animal origin, as well as inorganic fertilizers (Phelps et al. 2005).

Copepods play an important role in the initial stages of development of marine fish because they constitute their main natural prey, in addition to having a high nutritive content, easy digestion and adequate transfer of nutrients, making them an important food source in aquaculture (Prieto et al. 2006; Ruiz-Guzmán et al. 2012). Proof of this is that copepods are used in the larval stage of turbot *Scophthalmus maximus* (Conway et al. 1994), Atlantic cod *Gadus morhua* (Karlsen et al. 2015), sole *Rhombosolea tapirina* (Marshall. 2002), barramundi *Lates calcarifer* (Marshall, 2002) red snapper *Lutjanus campechanus* (Phelps et al. 2005) and the gilt-head sea bream *Sparus aurata* (Kahan et al. 1982). All these species proved to be successful predators of all stages of copepods of the orders Harpacticoida and Cyclopoida, demonstrating the potential of copepod cultivation by improving the nutritional quality of the diet and decreasing dependence on rotifers and artemia (Pais de Lira 2002; Vanacor-Barroso et al. 2017). The results presented here provide valuable information for *A. panamensis* culture, because the definition of preferred temperatures and salinities for a particular species, provide conditions where the organisms are subject to minimum stress; their physiological functions are optimized, providing a maximum

population growth (Nichelmann, 1983; Verbitsky et al. 2017).

### **Conclusions**

The species *Apocyclops panamensis* has a preference for warm waters (32°C) and medium salinity (28-32‰). The high production capacity of *A. panamensis* observed in this experiment allows visualizing the potential for scaling up production and evaluation as live food for larval culture of tropical fish. Nauplii and copepodites can be an alternative for feeding larval stages of marine fishes due to their small sizes. Another convenient feature is that it has a short life cycle that makes them susceptible to rapid mass production. We consider that *A. panamensis* is a species suitable to be used as live food; however, it is required to demonstrate its viability for mass production at pilot scale and preference by larvae of different species of fish.

### **Acknowledgments**

Authors thank the anglers from the Sociedad Cooperativa de Pescadores “San Ramón” Tabasco, especially Ramón Domínguez-Sánchez for his invaluable logistic support during our biological samplings. This investigation was a part of the Aquaculture Collaborative Research Support Program, supported partly by the United States Agency for Internal Development (USAID) (LAG-G-00-96-90015-00). The opinions expressed herein are those of the authors and do not necessarily reflect the views of the AquaFish Innovation Lab or USAID. CONACyT provided a Ph.D. scholarship to Leonardo Cruz-Rosado (258602). W.M.C.S. is a grant holder from SNI-CONACyT.

### **References**

- Álvarez-Fernández S, Licandro P, Van Damme CJG, Hufnagl M. 2015. Effect of zooplankton on fish larval abundance and distribution: a long-term study on North Sea herring (*Clupea harengus*). ICES J. Mar. Sci. 72: 2569-2577.
- Anufrieva EV. 2015. Do copepods inhabit hypersaline waters worldwide? A short review and discussion. Chin. J. of Oceanol. Limn. 33: 1354-1361.
- Boltovskoy D. 1981. Atlas del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Mar del Plata. INIDEP. pp 936.

- Cano RRS, Hooker E. 2004. The natural diet of *Apocyclops panamensis* at a shrimp farm on the Pacific coast of Nicaragua. *Zool. Stud.* 43: 344-349.
- Charmantier GUY. 1998. Ontogeny of osmoregulation in crustaceans: a review. *Invertebr. Reprod. Dev.* 33: 177-190.
- Contreras-Sánchez WM, García MDJC, Vera, AM, Vidal, UH, Rosado LC. 2014. Avances en la inducción al desove y desarrollo embrionario en cautiverio de *Centropomus poeyi*. *Kuxulkab'*, 20: 6-9.
- Conway DVP, McFadzen IRB, Tranter RG. 1994. Digestion of copepod eggs by larval turbot *Scophthalmus maximus* and egg viability following gut passage. *Mar. Ecol-Prog Ser.* 106: 303-309.
- Farhadian O, Yusoff, FM, Arshad A. 2008. Population growth and production of *Apocyclops dengizicus* (Copepoda: Cyclopoida) fed on different diets. *J World Aquacult. Soc.* 39: 384-396.
- Flores-Coto C, Espinosa-Fuentes MDLL, Zavala-García F, Sanvicente-Añorve L. 2009. Ictioplancton del sur del golfo de México: Un compendio. *Hidrobiológica.* 19:49-76.
- Galindo M. 1998. Efecto de la temperatura y la salinidad en parámetros poblacionales de *Pseudodiaptomus uryhalinus* Johnson (Crustáceo: copépoda calanoidea) en condiciones controladas [Doctoral dissertation]. México: Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. pp 68.
- Gilmore RG, Donohoe CJ, Cooke DW. 1983. Observations on the distribution and biology of east-central Florida populations of the common snook, *Centropomus undecimalis* (Bloch). *Florida Scientist.* 46: 313-336.
- Gomathi P, Anil MK, Raheem PK, Raju B. 2017. Standardization of culture aspects of *Apocyclops cmfri* sp. nov. a native cyclopoid copepod. *Mar. Fish. Infor. Serv, T and E. Ser.* 231: 17-19.
- Hernández-Trujillo, S, Esqueda-Escárcega GM. 2002. La diversidad de copépodos marinos en México. *Oceánides.* 17: 57-68.
- Hernández-Vidal U, Chiappa-Carrara X, Contreras-Sánchez W. 2014. Reproductive variability of the common snook, *Centropomus undecimalis*, in environments of contrasting salinities interconnected by the Grijalva-Usumacinta fluvial system. *Cienc. Mar.* 40: 173-185.



- Hirst, A. G., Bunker, A. J. 2003. Growth of marine planktonic copepods: global rates and patterns in relation to chlorophyll a, temperature, and body weight. *Limnol. Oceanogr.* 48: 1988-2010.
- Holste L, Peck, M. A. 2006. The effects of temperature and salinity on egg production and hatching success of Baltic *Acartia tonsa* (Copepoda: Calanoida): a laboratory investigation. *Mar. Biol.* 148: 1061-1070.
- Hopkins TL. 1982. The vertical distribution of zooplankton in the eastern Gulf of México. *Deep Sea Res. Part A. Oceanogr. Res. Pap.* 29: 1069-1083.
- Kahan D, Uhlig G, Schwenzer, D, Horowitz L 1982. A simple method for cultivating harpacticoid copepods and offering them to fish larvae. *Aquaculture*, 26: 303-310.
- Karlsen Ø, Van Der MT, Rønnestad I, Mangor-Jensen A, Galloway TF, Kjørsvik, E, Hamre K. 2015. Copepods enhance nutritional status, growth and development in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) larvae—can we identify the underlying factors?. *PeerJ* 3: e902.
- Koch J, Bui TT, Belleza EL, Brinkmann M, Hollert H, Breitholtz M. 2017. Temperature and food quantity effects on the harpacticoid copepod *Nitocra spinipes*: Combining in vivo bioassays with population modeling. *PloS one.* 12: 3 e0174384.
- Lindley LC, Phelps, RP, Davis DA, Cummins KA 2011. Salinity acclimation and free amino acid enrichment of copepod nauplii for first-feeding of larval marine fish. *Aquaculture.* 318: 402-406.
- Luna FJ, Arce UE, Figueroa T J. 2018. Ventajas e inconvenientes del uso de alimento vivo en la nutrición de peces. *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos.* 14: 39-43.
- Marshall, A. J. 2002). The culture of copepods as live food for marine fish larvae [Doctoral dissertation]. Australia: University of Tasmania. pp 381.
- Moore EA, Sander F. 1983. Physioecology of tropical marine copepods. II. Sex ratios. *Crustaceana.* 44: 113-122.
- Nichelmann M. 1983. Some characteristics of the biological optimum temperature. *J. Therm. Biol.* 8: 69-71.
- Osorio-Galindo M. 1998. Efecto de la temperatura y la salinidad en parámetros poblacionales de *Pseudodiaptomus uryhalinus* Johnson (Crustáceo: copépoda calanoidea) en

- condiciones controladas [Doctoral dissertation]. México: Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. pp 68.
- Pan YJ, Souissi A, Souissi S, and Hwang JS. 2016. Effects of salinity on the reproductive performance of *Apocyclops royi* (Copepoda, Cyclopoida). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 475: 108-113.
- Pais de Lira JG. 2002. Influencia da dieta na reprodução e crescimento do copepode, *Acylops procerus*, e seu potencial como aliemnto na larvicultura do robalo-peva, *Centropomus parallelus*. [dissertação mestrado]. Brasil: em aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina Centro de Ciencias Agrarias. pp 25.
- Payne MF, Rippingale RJ. 2000. Evaluation of diets for culture of the calanoid copepod *Gladioferens imparipes*. *Aquaculture*. 187: 85-96.
- Pérez IE, Gómez NS, Puello-Cruz AC. 2006. Efecto de diferentes dietas de microalgas sobre la supervivencia y crecimiento de *Apocyclops aff. panamensis* (Marsh, 1913), (Copépodo: Cyclopoida) cultivado bajo condiciones controladas de laboratorio. *Rev. Elec. de Vet.* 7:1-10.
- Phelps RP, Sumiarsa S, Lipman, EE, Lan HP, Moss KK, Davis AD. 2005. Intensive and extensive production techniques to provide copepod nauplii for feeding larval red snapper *Lutjanus campechanus*. *Copepods in aquaculture*. pp 151-168.
- Prieto M, Atencio V. 2008. Zooplankton en la larvicultura de peces neotropicales. *Rev MVZ Cordoba*. 13:1415-1415.
- Prieto M, Castaño F, Sierra J, Logato P, Botero J. 2006. Alimento vivo en la larvicultura de peces marinos: copéodos y mesocosmos. *Rev. MVZ Córdoba*. 11: 30-36.
- Puello CAC, González RB, García A. 2008. C Investigación en Producción y Uso de Copéodos en Larvicultura. pp 90-107. Editores: E CS, Denis RM, Tapia SM, Nieto LMG, Villarreal CDA, Lazo JP, Viana MT. *Avances en Nutrición Acuícola IX. Simposio Internacional de Nutrición Acuícola*. México. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Rasdi NW, Qin JG. 2016. Improvement of copepod nutritional quality as live food for aquaculture: a review. *Aquac. Res.* 47: 1-20.
- Reid JW, Hribar LJ. 2006. Records of some Copepoda (Crustacea) from the Florida Keys. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 155: 1-8.

- Ruiz-Guzmán JA, Jiménez CA, Gomes C, Prieto MJ. 2012. Cultivo experimental de *Cyclopina* sp. con diferentes especies de microalgas. Rev. Colomb. Cienc. Pecu. 25: 97-105.
- Sánchez-Estudillo L. 2011. Alimento nutritivo, colorido y en movimiento: Los cultivos de apoyo en Acuicultura. Ciencia y Mar. 43: 55-60.
- Schipp G. 2006. The use of calanoid copepods in semi-intensive, tropical marine fish larviculture. Avances e nutrición acuícola. Avances en Nutrición Acuícola IX. Simposio Internacional de Nutrición Acuícola. México. Universidad Autónoma de Nuevo León. 84-94.
- Støttrup JG. 2006. Review on the Status and Progress in Rearing Copepods for Marine Larviculture. Advantages and Disadvantages. Among Calanoid, Harpacticoid and Cyclopoid Copepods. in: Editors: Cruz SEL, Ricque DM, Tapia SM, Nieto LMG, David A. Villarreal Cavazos, Puello CAC, García OA. Avances e nutrición acuícola. Avances en Nutrición Acuícola IX. Simposio Internacional de Nutrición Acuícola. México. Universidad Autónoma de Nuevo León. 62-83.
- Su HM, Cheng SH, Chen TI, and Su MS. 2005. Culture of copepods and applications to marine finfish larval rearing in Taiwan. Copepods in aquaculture. 183-194.
- Suárez-Morales E. 2000. Copépodos, seres ubicuos y poco conocidos. CONABIO. Biodiversitas. 29: 7-11.
- Suárez-Morales E. 2015. Class maxillopoda. In Thorp and Coyich's Freshwater Invertebrates. Academic Press. pp 709-755.
- Suárez-Morales E, Fleeger JW, Montagna PA. 2009. Free-living Copepoda (Crustacea) of the Gulf of Mexico. Gulf of Mexico origin, Waters and Biota. 1: 841-870.
- Suárez-Morales E, Reid JW, Fiers F, Iliffe TM. 2004. Historical biogeography and distribution of the freshwater cyclopine copepods (Copepoda, Cyclopoida, Cyclopinae) of the Yucatan Peninsula, Mexico. J. Biogeogr. 31: 1051-1063.
- Torrentera BL, Tacon AGJ. 1989. La producción de alimento vivo y su importancia en acuicultura. Una diagnosis. Programa Cooperativo gubernamental FAO. Italia. GCP/RLA/075/ITA. Documento técnico. 12: pp 90.
- Vanacor-Barroso M, Carvalho CVAD, Antoniassi R, Ronzani-Cerqueira V. 2017. The copepod *Acartia tonsa* as live feed for fat snook (*Centropomus parallelus*) larvae from

notochord flexion to advanced metamorphosis. Lat. Am. J. journal Aquat. Res. 45: 159-166.

Velásquez A, Rosas J, Cabrera T, Millán J, Hernández M. 2001. Efecto de *Tetraselmis chuii*, *Nannochloris oculata* y *Dunaliella salina* sobre el crecimiento poblacional de *Apocyclops distans* (Copepoda, Cyclopoidae) en diferentes condiciones de temperatura e iluminación. Rev. Biol. Mar. Oceanogr. 36: 189-197.

Verbitsky VB, Grishanin, AK, Malysheva OA, Medyantseva EN, Verbitskaya TI. 2017. Thermal resistance, preferred and avoidance temperatures of *Cyclops strenuus* Fischer, 1851, and their relation to optimal, pessimal, and tolerant temperatures. Biology Bulletin. 44: 439-448.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## Figure Legends

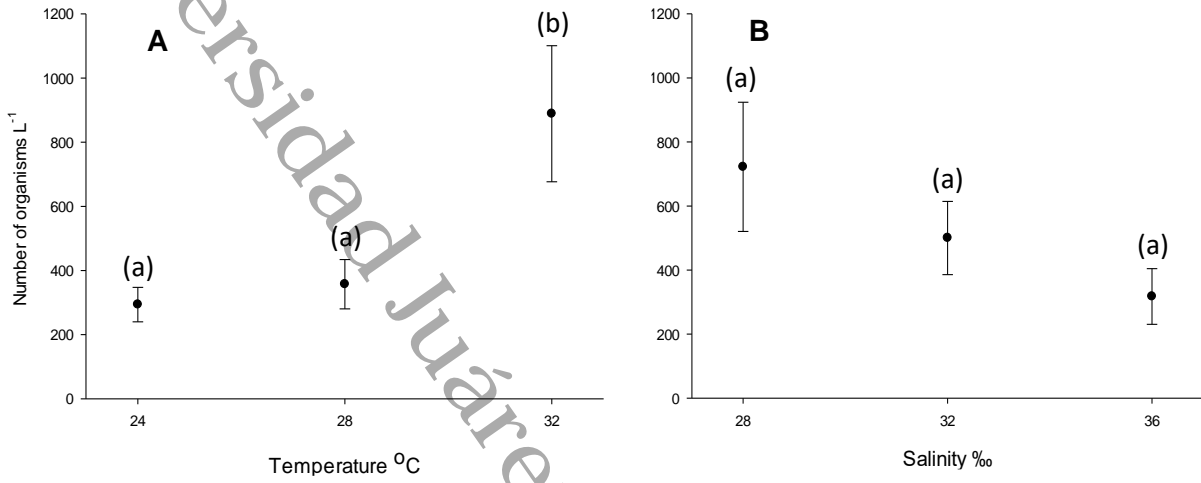
Figure 1. Mean values ( $\pm$  Standard error) of total copepods observed in the three temperatures evaluated (A) and the three salinities (B). Different letters indicate statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) between temperatures. The sample size per group is  $n=18$ .

Figure 2. Treatment trends showing mean values of total copepods observed in the nine treatments evaluated. The sample size per observation is  $n=6$ .

Figure 3. Treatment trends showing mean values of nauplii (A) and copepodites (B) observed in the nine treatments evaluated for 14 days. The sample size per observation is  $n=6$ .

Figure 4. Treatment trends showing mean values for total females (A) and males (B) observed in the nine treatments evaluated for 14 days. The sample size per observation is  $n=6$ .

**Figure 1**



**Figure 2**

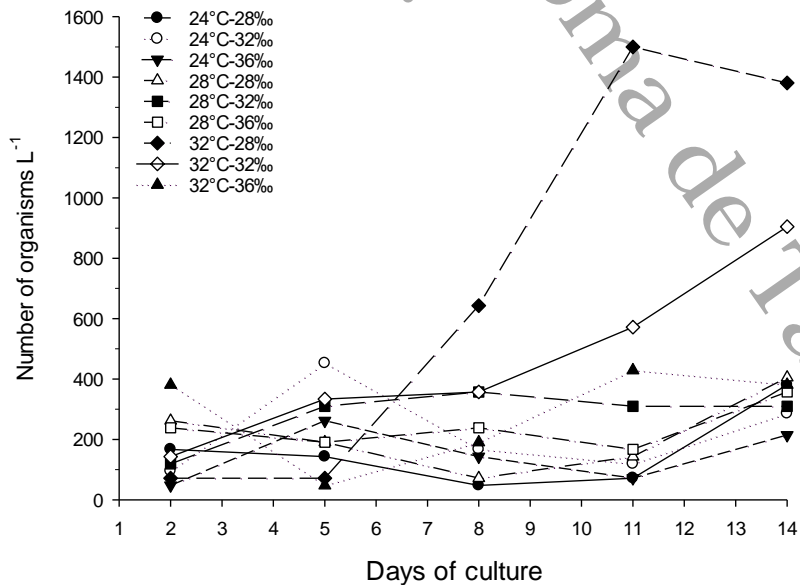


Figure 3

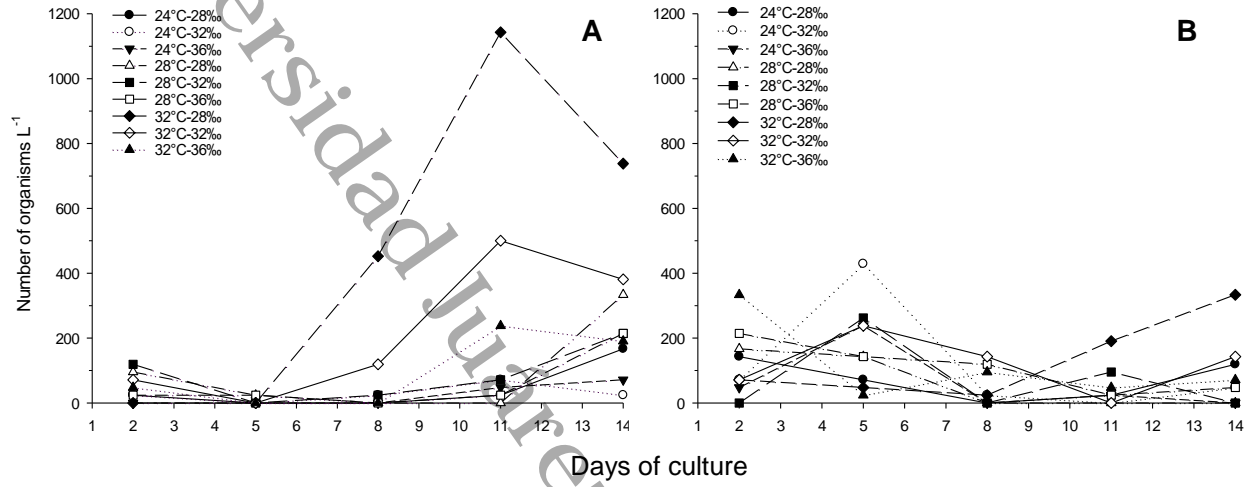
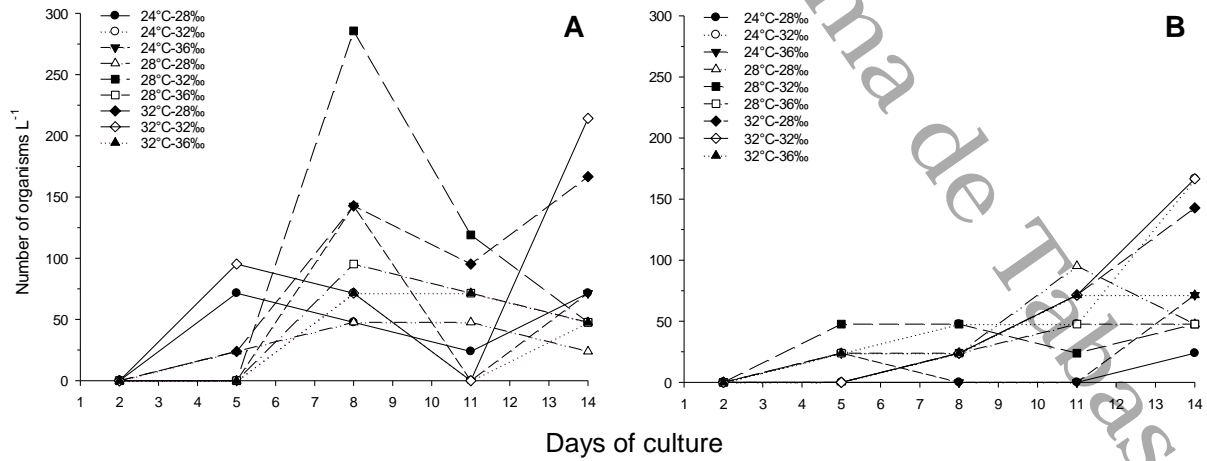


Figure 4



**CAPITULO V**

**CULTIVOS A ESCALA PILOTO Y PROTOCOLO DE  
PRODUCCIÓN MASIVA DE COPÉPODOS**

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.



## PROTOCOLO DE CULTIVO DE *Apocyclops panamensis* EN LABORATORIO

### Presentación

El copépodo *Apocyclops panamensis* pertenece a los Cyclopoida, grupo de especies que han sido consideradas ampliamente con potencial en la alimentación de larvas de peces marinos al lograr mejora en la supervivencia (Prieto, 2006). La ingesta de copépodos -principalmente en su etapa de nauplio- favorece el buen desarrollo de larvas de peces marinos como el lenguado (*Rhombosolea tapirina*) y el barramundi (*Lates calcarifer*) (Marshall, 2002;). Algunas especies han sido probadas como alimento vivo con éxito en los Centropómidos con la finalidad de mejorar su dieta y disminuir el uso del alimento convencional que puede generar resultados variables (Pais de Lira 2002; Vanacor-Barroso *et al.* 2017). En el caso particular de *A. panamensis* se han realizado pruebas preliminares de alimentación larvaria con resultados prometedores en el huachinango (*Lutjanus campechanus*) (Phelps *et al.*, 2005) por lo que se considera una alternativa con potencial si se logra dominar su producción masiva.

Esta especie de copépodo tiene amplia distribución en las costas del Atlántico, golfo de México y mar Caribe; por lo que, al pertenecer a un hábitat tropical, sus necesidades ambientales se comparten con las de las especies marinas que se trabajan en la región donde se distribuye. Las características evaluadas en laboratorio, sugieren que es susceptible de ser usado como cultivo de apoyo en acuicultura debido a su gran adaptabilidad al cautiverio y corto ciclo de vida. Algunos datos interesantes de nuestras evaluaciones indican que la especie completó su ciclo de vida en un lapso de 6 días, transitando la etapa de nauplio en dos días, la de copepodito en dos días adicionales y convirtiéndose en adulto en etapa reproductiva al día cinco. Las poblaciones de la especie se mantuvieron satisfactoriamente en los rangos de temperatura de 24 a 32°C y salinidad de 28 a 36. Aunque no se evaluó de forma experimental, se mantuvo un pH entre 7 y 8 por lo que es posible que sea este valor recomendable. Los adultos generan nauplios rápidamente y en su alimentación acepta diversos tipos; como las algas, *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis chuii*, *T. suecica*, la levadura de panificación, fermentados de salvado de trigo y arroz. Sin embargo, para obtener

una producción constante y calidad para larvas se prefiere el uso de las algas vivas; mientras que los alimentos alternativos para cultivos de mantenimiento y conservación de lotes de reserva. Una ventaja adicional para su uso en larvas de boca pequeña como es el caso de la mayoría de las especies marinas de cultivo, es el tamaño de sus nauplios (etapa N1-N2) que oscila de 84 a 100  $\mu\text{m}$ .

En términos generales, el manejo de este copépodo en laboratorio es muy sencillo, pues se mantienen cultivos madre en tanques de 50-100 L mediante la técnica de producción de aumento progresivo de volumen, suministrando alimento y calidad adecuada, y ajustando las condiciones de temperatura, salinidad y pH señaladas previamente.

La cepa de *Apocyclops panamensis* es mantenida en el Cepario del Laboratorio de Acuicultura Tropical, perteneciente a la División de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

A continuación, con base en los trabajos experimentales y aprendizaje realizados durante esta investigación, se presenta el protocolo de cultivo básico de la especie diseñado en nuestro laboratorio.

## **PROTOCOLO DE PRODUCCIÓN MASIVA DE *Apocyclops panamensis***

El presente protocolo fue obtenido a partir de experiencias de cultivo en las que se logró producir masivamente a escala piloto *A. panamensis* en tanques con capacidad de mil litros, alcanzándose una densidad de hasta 11.6 copépodos por mililitro para un total de 11.6 millones de copépodos en el tanque. La máxima producción se obtuvo en dos meses.

### **Acondicionamiento y manejo del agua de cultivo**

- Emplear agua de mar natural obtenida de una fuente de buena calidad.
- Filtrar el agua, empleando un tamiz de 50  $\mu\text{m}$  y posteriormente se hace pasar por un papel filtro de 2  $\mu\text{m}$  con la finalidad de eliminar la mayor cantidad posible de sedimentos y organismos no deseados como competidores y depredadores.
- Desinfectar el agua con hipoclorito de sodio comercial (5.4%) tratando de alcanzar una concentración aproximada de 45 ppt de hipoclorito que corresponden a 0.3 mL de Cloralex<sup>®</sup> por litro de agua marina. Se recomienda dejar reposar el agua por lo menos 24 horas con aireación constante para tener un mejor proceso de desinfección por circulación.
- Transcurrido el proceso de desinfección, la eliminación del cloro del agua se realiza agregado 250 mg de tiosulfato de sodio por litro de agua con aireación constante durante 10 minutos. Se recomienda analizar la presencia de cloro mediante un kit comercial terminado el proceso.
- Es importante estar monitoreando las variables ambientales como el pH, ya que muchos cultivos de algas pueden tener pH arriba de 9, pudiendo elevar el pH de los cultivos de copépodos, se recomienda mantener un pH estable entre un rango de 7-8.

### **Abastecimiento y suministro de aire**

- Se recomienda que el aire se abastezca con un soplador de 1 HP (caballo de fuerza). El sistema de aireación general cuenta con filtros de hilo de 25 micras para retener partículas que pudieran contribuir en la contaminación en los cultivos.
- La aireación en el cultivo debe ser permanente y de preferencia mantener una concentración de oxígeno disuelto de  $>5 \text{ mg L}^{-1}$ .

- Las piedras aireadoras deben ser de tipo burbuja de unos 5 cm ubicándose a media columna de agua para evitar la suspensión de los sedimentos.
- Las piedras de aireación deben ser lavadas y desinfectadas, incluyendo las mangueras utilizadas para la aireación.
- La aireación de los cultivos de copépodos debe ser suave, una aireación vigorosa puede ir creando burbujas que al reventar pueden ir depositando los copépodos en las paredes de los cultivos reduciendo las poblaciones, aunado a ello los copépodos por ser organismos acuáticos no están adaptados a la gravedad.

### **Puesta en marcha de los cultivos**

Para iniciar los cultivos de *A. panamensis* es necesario contar con un cultivo madre para obtener los inóculos. El cultivo madre contiene copépodos de todos los estadios, mantenidos de manera permanente en un cultivo a salinidad y temperatura controlada. Estos cultivos se emplearán como fuente para la siembra.

En los cultivos nuevos, es necesario sembrar nauplios que deben ser separados del cultivo madre usando tamiz con malla de 150  $\mu\text{m}$ .

- La salinidad para óptima para el cultivo de *A. panamensis* es de 28, mientras que la temperatura de 32°C.
- Los tanques o recipientes utilizados para los cultivos deben ser desinfectados con la solución de hipoclorito de sodio diluida en agua corriente, en la proporción descrita previamente
- Los nuevos cultivos, se sugiere ser iniciados a una densidad de un nauplio por mililitro con un volumen inicial de 100 L. Por tanto, se inocularán un total de 100,000 nauplios. En su caso, el volumen se puede ajustar con base en la disponibilidad de semilla.
- La temperatura y salinidad del agua debe estar ajustada y en su caso, realizar aclimatación antes de iniciar los cultivos; si es necesario, se emplean calentadores con termostato. La salinidad se ajusta con diluciones sucesivas con agua dulce filtrada y desinfectada mediante el procedimiento similar al del agua marina.

- Diariamente debe revisarse el estado general del cultivo y es necesario monitorear los parámetros básicos como oxígeno disuelto, temperatura y salinidad. En los cultivos nuevos, los nauplios a temperatura de 32°C y salinidad de 28 alcanzan la etapa de copepoditos en tres días.
- Alcanzada la etapa de copepodito, se preparan para entrar en la etapa adulta que se logra en dos días más, y con ello el inicio de la reproducción e incremento de la población, por lo que es necesario adicionar agua duplicando el volumen inicial. El procedimiento se repite cada vez que se observa otra cohorte en desarrollo con la presencia de copepoditos nuevamente, tomando en cuenta que el ciclo de vida de la especie dura en promedio seis días en las condiciones de salinidad y temperatura descritas previamente. En caso de no contar con la cantidad considerada de nauplios ideal, se realiza la misma operación, pero en volúmenes pequeños de acuerdo a la densidad sembrada inicialmente.
- La densidad recomendada por mL, en los cultivos puede mantenerse en el rango de 1-11, Copépodos/mL<sup>-1</sup>. Esta densidad fue observada con éxito en el presente trabajo de investigación. El volumen de los cultivos también se puede ir aumentando parcialmente con la adición de agua tratada o bien con microalgas vivas.
- El fotoperiodo en los cultivos se mantiene a 12:12 (luz: oscuridad), empleando lámparas de luz fría o de baja emisión de calor.

### **Alimentación**

La alimentación de *A. panamensis* puede ser diversa debido a las características omnívoras de la especie. Este organismo se puede alimentar con éxito usando pasta algal, levadura de pan y microalga viva; siendo la última, la más recomendada por sus características nutricionales que aporta al organismo generando buen desempeño de las poblaciones y buena calidad nutricional de los copépodos a usarse como alimento para las larvas de peces.

- La alimentación diaria empleando algas, debe mantener un rango de concentración de 20,000 a 50,000 cel/mL<sup>-1</sup>. Debido a que el volumen de agua que se adicionará al cultivo dependerá de la fase de crecimiento en la que se encuentren los cultivos de algas; se recomienda ampliamente que estén en la más alta densidad posible.
- Nuestras observaciones son similares a aquella información que indica que la especie tiene preferencia por algas flageladas como *Tetraselmis chuii*, *T. suecica* e *Isochrysis galbana*

(Velásquez, 2001). Sin embargo, la alimentación puede ser realizada con pasta algal comercial o levadura de pan lo cual facilita el trabajo. Este alimento se suministra en una proporción de  $0.1 \text{ mL}^{-1}$  de pasta algal o 0.5 g de levadura por cada 1,000 copéodos.

- Las algas se cultivan en un rango de salinidad de 30-35 para evitar cambios bruscos en este parámetro al adicionarlas al cultivo.

### **Seguimiento poblacional**

Se deben hacer conteos diarios, considerando todos los estadios de la especie (naupliocopepodito-adulto), para tener el estimado poblacional. Los conteos se realizan utilizando un estereomicroscopio en aumentos de 8 a 20 X. Comúnmente se toman cuatro alícuotas de 0.5 mL, posteriormente se realiza el conteo y se obtiene un promedio. Se obtiene como resultado el número de copéodos por mL que al final se extrapola al volumen total del cultivo.

A continuación, se ejemplifican los conteos que realizan para el estimado diario de la población de copéodos en un volumen de 100 L:

- Se toman 4 alícuotas del cultivo con volumen de 0.5 mL y se contabiliza el total de organismos: 33, 36, 41, 45
- Se obtiene el promedio:  $33+36+41+45=155 \div 4=38.75$  copéodos
- El promedio se divide entre el volumen de la alícuota para obtener el número de organismos por mililitro  $38.75/0.5=77.5$  copéodos/mL
- El resultado se multiplica por el volumen total del cultivo (en mL):  $77.5$  copéodos/mL \* 100,000 mL = 7 750,000 copéodos
- Por tanto, en los 100 L se estimó la presencia de 7.75 millones de copéodos

Como indicador de que se tiene una población sana y en crecimiento debe notarse según el tiempo de cultivo la presencia de las diferentes etapas de desarrollo, la presencia de nauplios y de hembras adultas ovadas. Esta información permite tomar decisiones en el tiempo pertinente.

Los conteos indicarán el momento adecuado para iniciar las cosechas. Para obtener una buena cantidad de nauplios se pueden iniciar las cosechas de esta etapa a las dos semanas. En el

caso de que sean cultivos de mantenimiento se pueden realizar cosechas en el mismo periodo, pero de todas las fases (nauplio, copepoditos, adultos) para mejorar la densidad.

### **Manejo general y desmonte de cultivos**

Se pueden hacer recambios parciales de agua en los cultivos, reemplazando cada dos semanas un 25 o 30 % del volumen total del cultivo, por agua nueva desinfectada.

Los cultivos después de dos meses es necesario reiniciarlos o bien, cuando se observa el decrecimiento de las poblaciones durante los conteos de rutina. Aunque pueden ser diversas causas de caída de las poblaciones, comúnmente es debido a la acumulación de materia orgánica generada en el mismo, la alteración del pH, por contaminación con otros organismos, entre otros.

### **Recomendaciones generales**

- ✓ Los cultivos pueden ser mantenidos a la intemperie, siempre y cuando los rangos de temperatura no sean menores a 24 °C ni mayores a 34 °C. Para un crecimiento poblacional rápido se recomienda que sea alrededor de 32 °C. tomando en cuenta las características tropicales de la especie.
- ✓ Evitar la contaminación con rotíferos, protozoarios u organismos ajenos al cultivo debido a que en muchas ocasiones existe competencia por el alimento disponible, organismos cuyo ciclo de vida sea más corto y terminen por desplazar la población de nuestro interés. Por tanto, se recomienda usar material exclusivo para el cultivo de copepodos, para evitar contaminación.
- ✓ Cuando se cosechan los copepodos con los tamices, siempre es necesario que se encuentren húmedos para evitar que los copepodos queden fuera de un medio líquido, o bien mantenerlos sumergidos cuando se esté realizando la cosecha, así se reduce la mortandad por el manejo, en ese mismo sentido, es necesario retirar los copepodos que se van quedando pegados en las paredes del tamiz.

- ✓ El agua utilizada para el cultivo de la especie fue solo agua marina natural; sin embargo, no se descarta la posibilidad de que puedan ser cultivados en agua artificial.
- ✓ Se puede emplear luz artificial y temporizadores automáticos para controlar el fotoperiodo.
- ✓ En caso de observar que no incremente la producción es necesario reiniciar los cultivos y determinar el factor que afectó la producción. Por ejemplo, residuos de hipoclorito de sodio.

Los resultados anteriores nos permiten mantener una población considerable de copéodos para tener suficiente producción para poder realizar de manera experimental pruebas futuras utilizando copéodos nativos en las primeras etapas larvianas de algunas especies de peces marinos.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.



## REFERENCIAS

- Marshall, A. J. 2002. The culture of copepods as live food for marine fish larvae [Doctoral dissertation]. Australia: University of Tasmania.
- Pais de Lira J. G. 2002. Influencia da dieta na reproducao e crescimento do copepode, *Apocyclops procerus*, e seu potencial como aliemnto na larvicultura do robalo-peva, *Centropomus parallelus*. Tesis de Pósgrado em aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina Cnetro de Ciencias Agrarias, 41 p.
- Phelps, R. P., Sumiarsa, G.S., Lipman, E.E., Lan, H. P., Moss, K.K. & Davis, A.D. 2005. Intensive and extensive production techniques to provide copepod nauplii for feeding larval red snapper *Lutjanus campechanus*. In: Lee, C.-S., P.J. O'Bryen, N.H. Marcus (Eds.), Copepods in Aquaculture, pp. 151-168.
- Vanacor-Barroso, M., Carvalho, C. V. A. D., Antoniassi, R., & Ronzani-Cerqueira, V. (2017). The copepod *Acartia tonsa* as live feed for fat snook (*Centropomus parallelus*) larvae from notochord flexion to advanced metamorphosis. Latin American Journal of Aquatic Research, 45(1), 159-166.
- Velásquez A, Rosas J, Cabrera T, Millán J, Hernández M. 2001. Efecto de *Tetraselmis chuii*, *Nannochloris oculata* y *Dunaliella salina* sobre el crecimiento poblacional de *Apocyclops distans* (Copepoda, Cyclopoidae) en diferentes condiciones de temperatura e iluminación. Revista de Biología Marina y Oceanografía 36: 189-197.

**CAPITULO VI**

**DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES**

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## DISCUSIÓN GENERAL

La investigación actual nos permite un acercamiento a la dinámica del zooplancton en el área de influencia del río González, conocida también por los pescadores locales como zona de desove de robalos (Hernández-Vidal *et al.*, 2014). La comunidad de zooplancton en el área fue dominada por copepodos mostrando picos durante la estación de tormentas de verano además estuvo fuertemente influenciada por las descargas de los ríos, principalmente por los aportes de nutrientes provenientes de las plumas que aporta el río González particularmente de agosto-octubre. Los picos de zooplancton aparecen después de las lluvias junto con los incrementos en la temperatura superficial, la disposición de nutrientes es reflejado también en el incremento de las concentraciones de clorofila a durante los meses de septiembre-noviembre y descendiendo durante diciembre. Este patrón coincide con el incremento en la abundancia y diversidad de sifonóforos en el golfo de México durante octubre (Sanvicente-Añorve *et al.*, 2007). De manera similar la densidad de la macroinfauna benthónica también aumenta considerablemente durante la estación de tormentas de verano en el área de influencia del sistema Grijalva-Usumacinta (Hernández-Arana *et al.*, 2003). Durante el 2011 los altos niveles de lluvias ocurrieron durante septiembre-octubre, aumentando el volumen de descarga de agua dulce por las plumas del sistema Grijalva-Usumacinta (Monreal-Gómez *et al.*, 1992). Promoviendo el incremento de los herbívoros, omnívoros y grupos de zooplancton omnívoro (Contreras-Espinoza, 2016), la influencia ecológica en el fitoplancton y zooplancton ocasionado por las descargas de nutrientes por los ríos ha sido documentada mundialmente (Cotrim *et al.*, 2007; Flores-Coto *et al.*, 2000). Las descargas del río Mississippi, al norte del golfo de México también han sido documentadas encontrando una asociación directa con la abundancia, composición del zooplancton y sus depredadores (Ortner *et al.*, 1989; Lohrenz *et al.*, 1990). Altos niveles de abundancia de zooplancton han sido asociados con sistemas fluviales y sistemas lagunares en la parte sur del golfo de México, sin embargo, la abundancia de zooplancton decrece hacia las zonas oceánicas (Ordóñez y Ornelas, 2003; Contreras-Espinoza, 2016; Rowe, 2017).

La abundancia de copepodos promueve la variabilidad estacional del zooplancton en el área de estudio. Sus amplios patrones de distribución y su alta abundancia se deben

principalmente a sus ciclos de vida corto y a sus rápidas tasas de reproducción (las hembras adultas pueden liberar huevos diariamente) (Suárez-Morales, 2000; Suárez-Morales *et al.*, 2009; Morales-Serna y Gómez, 2012). Copepoda es el grupo taxonómico dominante (tanto en número como en biomasa) en la mayoría de los hábitats costeros y de mar abierto del golfo de México (Rowe, 2017) y del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (Okolodkov *et al.*, 2011). De manera similar, Espinosa-Fuentes *et al.*, (2016) concluyeron que las etapas de nauplios y copépodos dominaban la biomasa zooplanctónica en la plataforma continental de Campeche, México.

Los quetognatos (Sagittoidea) y los Bivalvia fueron otros grupos taxonómicos de zooplancton abundantes. Se ha observado una asociación directa entre la abundancia de Copepoda y Sagittoidea porque quetognatos se alimentan principalmente de copépodos (Sato *et al.*, 2011; Cota-Meza *et al.*, 2015). El golfo de México contiene casi el 20% de todas las especies conocidas de Sagittoidea (Hernández-Flores *et al.*, 2009) con patrones de distribución influenciados principalmente por la salinidad y la temperatura, y pueden ser depredadores frecuentes de larvas de peces (Mille-Pagaza y Carrillo-Laguna, 2003; Lozano-Cobo *et al.*, 2017). La alta abundancia de larvas de Bivalvia está probablemente relacionada con la producción natural de ostras que existe en las lagunas costeras cercanas a la región (Zamora y Aranda, 2000).

Los Appendicularia y la Euphausiacea se observaron principalmente durante la temporada de lluvias. Las especies de Euphausiacea tienden a formar agregaciones densas en zonas templadas y aguas frías, proporcionando una biomasa altamente atractiva para los depredadores del plancton y el necton (Galtsoff, 1954; Fernández *et al.*, 2002). La ecología de las Euphausiacea ha sido ampliamente investigada en el mar Caribe y el golfo de México, mostrando considerablemente mayores abundancias y menor diversidad a lo largo de las zonas costeras que en las regiones oceánicas (Gasca *et al.*, 2001; Castellanos y Gasca, 2002). En cualquier caso, su abundancia estimada en el presente estudio no alcanzó las agregaciones de alta densidad observadas en las zonas templadas del golfo de México (Gasca *et al.*, 2001; Castellanos y Gasca, 2002). Por su parte Biggs *et al.*, (1997) mostraron que durante el verano se producen altos niveles de actividad reproductiva del krill (evidenciados por la gran abundancia de estadios larvarios tempranos) en el sur del golfo de México. Se ha informado

de la alta abundancia de apendiculares cerca de la plataforma continental de Tabasco, influenciada por la descarga de agua continental, que disminuye la salinidad y provoca bajas temperaturas; condiciones que favorecen la disponibilidad de alimento durante la temporada de lluvias (Flores-Coto *et al.*, 2010 a, b).

La diversidad y abundancia de huevos y larvas de peces es considerablemente mayor en los hábitats costeros que en los oceánicos (Monreal-Gómez y Salas 2004; Flores-Coto *et al.*, 2009). La estructura y abundancia de la comunidad de zooplancton, así como la concentración de clorofila *a* en la superficie del mar, registrada en el presente estudio, fue espacialmente homogénea debido a la pequeña área investigada sobre la plataforma continental, pero con una variabilidad estacional significativamente distinta. Se ha reportado que los centropómidos desovan en el sistema fluvial Grijalva-Usumacinta durante los períodos de alta disponibilidad de zooplancton (Hernández-Vidal *et al.*, 2014).

Los copépodos fueron notablemente dominantes durante todo el año en este hábitat costero y poco profundo, lo que sugiere que son la presa más abundante y frecuente disponible para las larvas de peces. Las huevas y larvas de peces recolectadas durante septiembre y noviembre de 2011 confirmaron que el área de estudio es también un sitio activo de desove. Para entender el papel que juega el zooplancton en la dieta de las larvas de peces en esta región, la futura investigación debe investigar sus hábitos alimenticios usando evidencia del contenido estomacal y métodos metagenéticos. Los resultados del presente estudio ayudan a delimitar los períodos del año con mayor abundancia de cada uno de los grupos taxonómicos del zooplancton y conocer que el hábitat de alimentación de las larvas de peces puede ayudar a detectar qué especies del zooplancton que pueden ser cultivadas para alimentar a las larvas de peces en cautiverio.

Las generalizaciones de las fluctuaciones estacionales de la comunidad zooplanctónica observadas en el presente ciclo anual (marzo 2011-febrero 2012) deben ser tratadas con cautela, ya que la asociación encontrada entre las variables ambientales medidas y la composición taxonómica de la comunidad zooplanctónica ciertamente cambia interanualmente, en este sentido Rowe, (2017) propuso la hipótesis de que las bajas densidades y biomasa del zooplancton en el sur del golfo de México se deben a la limitada producción de fitoplancton, que a su vez está limitada por la falta de nutrientes inorgánicos,

principalmente nitratos. El autor reconoció que hay excepciones en las áreas cercanas a las bocas de los ríos en la base de la costa de Campeche. El efecto del tipo y concentración de nutrientes no incluidos en este estudio debe ser investigado en esta región para inferir los mecanismos que controlan los ensambles de especies de fitoplancton y zooplancton en las plumas de los ríos de las cuencas del Grijalva y Usumacinta.

Posteriormente de conocer la composición zooplanctónica de la zona se regresó a recolectar material vivo, aislando dos especies de copépodos de las cuales una resultó ser la más apta para ser cultivada (*Apocyclops panamensis*), para ello fue necesario conocer las condiciones de salinidad y temperatura óptimas para su crecimiento. Evaluando una cohorte de nauplios de *A. panamensis* mostrando que los dos mejores tratamientos fueron 32°C-28 de salinidad y 32°C-32 de salinidad. El hecho de que los dos mejores tratamientos correspondan a la temperatura de 32°C indica que esta especie presenta un mejor desempeño en condiciones de cultivo de ambientes cálidos-tropicales lo que concuerda con su ámbito de distribución en regiones neotropicales (Suárez-Morales *et al.*, 2004). Al respecto de este comportamiento, en el cultivo experimental de *A. distans*, copépodo que pertenece al mismo género que *A. panamensis*, el mayor crecimiento poblacional se obtuvo en un rango de temperatura de 26 a 33.8°C, condiciones que coinciden con las temperaturas que mayor crecimiento poblacional en nuestro estudio y correspondientes a los registros de nauplios, copepoditos y hembras totales. Estas observaciones indican que *A. panamensis* tiene preferencia por aguas relativamente cálidas, consecuentemente las temperaturas bajas generan el menor crecimiento poblacional como ha sido registrado en nuestra investigación en la temperatura de 24°C y es equiparable a lo observado en *Acartia distans* y *A. tonsa* en cultivos a 22°C y  $\leq 12^\circ\text{C}$  respectivamente (Velásquez *et al.*, 2001; Holste y Peck 2006). Existe variedad de información con respecto a los efectos de la temperatura sobre las poblaciones de copépodos. Mientras que algunas especies se pueden aclimatar a temperaturas fuera de sus rangos normales sin afectar su potencial reproductivo (Dussart y Defaye en: Suárez Morales 2015). Otras especies hacen ajustes en su reproducción, por ejemplo, *Pseudodiaptomus eurysalinus*, una especie de clima templado disminuye el número de huevos producidos por hembra en temperaturas cálidas (Osorio-Galindo 1998). Las temperaturas cálidas permiten un ciclo de vida corto, lo que puede traducirse en un alto crecimiento poblacional en corto tiempo, prueba

de ello es que muchos copépodos Cyclopoida tienen un periodo de maduración que va de cuatro a cinco días, haciéndolos susceptibles para cultivo masivo (Su *et al.*, 2015).

En este experimento se hace evidente que la salinidad óptima en la que se alcanza la mayor producción de *A. panamensis* se encuentra en un rango de valores relativamente amplio, pues oscila entre 28 y 32. Estos resultados coinciden con los hábitos que describen a la especie como eurihalina al haber sido observada en ambientes que van desde la condición oligohalina que se presenta en lagunas costeras y esteros hasta aguas hipersalinas en áreas semidesérticas de América del Norte, (Cano *et al.*, 2004; Pérez *et al.*, 2006; Reid y Hribar, 2008; Annabi-Trabelsi *et al.*, 2011). La amplia tolerancia de la especie ha sido demostrada también al ser recolectada en salinidades de 6.6 de salinidad y posteriormente aclimatada exitosamente a 30 de salinidad (Lindley *et al.*, 2011). Se infiere que es una especie que tolera amplios rangos de salinidad, pero con preferencia por aguas salobres a como se observó en este experimento, ya que, con el aumento de la salinidad disminuyó la producción de nauplios.

El hecho de que hayamos registrado crecimiento poblacional en las diversas condiciones evaluadas es muestra de la amplia capacidad adaptativa de *A. panamensis*. En general para este grupo de organismos se sabe que los adultos tienen tolerancia a diversos factores considerados adversos al igual que sus estadios de latencia, pues esto facilita la diseminación por medio de aves y viento, lo que podría ser la explicación del éxito de colonizar los ambientes contrastantes en los que se han encontrado, aunque se sabe poco sobre los mecanismos fisiológicos y ecológicos que permiten a los copépodos residir en estos ambientes (Anufriieva, 2015).

En el mejor tratamiento de este estudio (32°C-28 de salinidad) se pudo observar que la población creció 3.4 veces en 14 días, reflejando un crecimiento rápido. Estos resultados son similares a otros estudios donde comúnmente se ha generado producción de Cyclopoida de entre 1 a 5 veces la cantidad inoculada (Pérez *et al.*, 2006; Pharadian *et al.*, 2008; Ruíz-Guzmán *et al.*, 2012). La elevada productividad observada en los tratamientos refleja principalmente la cantidad de nauplios obtenidos; que son el principal objetivo productivo para la acuicultura de larvas de peces. La productividad alcanzada de 738 nauplios L<sup>-1</sup>, es superior a la alcanzada por Lipman (2001) quien reportó de manera conjunta a los nauplios y copepoditos con 733 L<sup>-1</sup>, en el mismo periodo de estudio (14 días). Por su parte, Phelps *et*

*al.*, (2005) en el cultivo de *A. panamensis* utilizó copépodos adultos en densidades iniciales de 320, 1,280 y hasta 5,120 adultos L<sup>-1</sup> empleando bolsas de plástico con capacidad de 40 L, por un periodo de 4 a 9 días, alcanzando 16,942 nauplios L<sup>-1</sup> en la máxima densidad de adultos sembrada.

Otro factor que pudo haber contribuido a la buena productividad observada en *A. panamensis*, es el tipo de alimento empleado. *Tetraselmis chuii* es considerada como una buena alternativa alimenticia para copépodos por ser algas flageladas móviles de talla grande, siendo notoria su preferencia en comparación con algas no móviles. Velásquez *et al.*, (2001) obtuvieron los mejores valores de producción de nauplios en *A. distans* empleando *Tetraselmis chuii* al ser comparada con *N. oculata*. La densidad celular utilizada en este estudio puede considerarse como baja (20,000 cel mL<sup>-1</sup>) comparada con la empleada en otros trabajos donde se utilizan desde 50,000 cel mL<sup>-1</sup> (Pérez *et al.*, 2006) hasta 600,000 cel mL<sup>-1</sup> (Mujica *et al.*, 1995). Velásquez *et al.*, (2001) utilizó densidades algales de 300,000 cel mL<sup>-1</sup> de *T. chuii*, para alimentar *A. distans*, mientras que Ruíz-Guzmán *et al.*, (2012) obtuvieron los mejores resultados en el cultivo de *Cyclopina* sp. con la combinación de *T. suecica* e *Isochrysis galbana*. La densidad celular de 600,000 cel mL<sup>-1</sup>, dio resultados favorables en el cultivo de *Tigriopus* sp. suministrando *Nannochloropsis* sp. (Mujica *et al.*, 1995). Phelps *et al.*, (2005) cultivaron *A. panamensis* utilizando una densidad celular de 500,000 cel mL<sup>-1</sup> empleando la microalga *Isochrysis galbana*. Es posible que la producción de *A. panamensis* pueda ser mejorada al emplearse una dieta variada posiblemente favorece la productividad en los cultivos de copépodos comparando con la alimentación empleando una sola especie. Esto puede ser atribuible al alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados aportados por las mezclas (Farhadian, 2008). Alternativamente, estas dietas algales pueden ser mejoradas suministrando otras fuentes alimenticias como son harinas de origen vegetal y animal, así como fertilizantes inorgánicos (Phelps *et al.*, 2005).

Los copépodos juegan un papel importante en el desarrollo de los peces marinos en sus etapas de desarrollo inicial debido a que son sus principales presas naturales, además de tener un alto contenido nutritivo, fácil digestión y adecuada transferencia de nutrientes, haciéndolos una importante fuente de alimento en la acuicultura (Prieto *et al.*, 2006; Ruiz-Guzmán *et al.*, 2012). Prueba de ello es que los copépodos son usados en la etapa larvaria del rodaballo



*Scophthalmus maximus* (Conway *et al.*, 1994), el bacalao del atlántico *Gadus morhua* (Karlsen *et al.*, 2015), el lenguado *Rhombosolea tapirina* (Marshall, 2002), el barramundi *Lates calcarifer* (Marshall, 2002) el pargo rojo *Lutjanus campechanus* (Phelps *et al.*, 2005) y la dorada *Sparus aurata* (Kahan *et al.*, 1982). Todas estas especies demostraron ser depredadores exitosos de todas las etapas de copépodos de los órdenes Harpacticoida y Cyclopoida, demostrándose el potencial del cultivo de los copépodos al mejorar la calidad nutricional de la dieta y disminuir la dependencia de rotíferos y artemia (Pais de Lira 2002; Vanacor-Barroso *et al.*, 2017).

En lo que respecta al ciclo de vida de *A. panamensis* a 28 °C-28 de salinidad, es de seis días. La etapa de nauplio ocurre en 2.0 días y la etapa de copepodito en 2.0 días. A partir del día cuatro se diferencian los sexos, alcanzando la condición de adulto maduro en un día más (día 5), pues es posible observar hembras ovadas. En el día seis eclosionan los huevos y se observan nauplios recién eclosionados de una nueva generación. La etapa de nauplio consta de seis fases que transcurren aproximadamente en 48 horas, presentando una longitud promedio que va de 86 µm a 207 µm durante este periodo (Tabla 2). Las etapas naupliares se diferencian entre sí por la talla o aspectos morfológicos (Figura 6). Durante las etapas de nauplio NI y NII, el organismo tiende a tener una forma esférica apreciándose tres pares de apéndices. En las etapas NIII-NVI, la primera y la segunda antena; así como la mandíbula, y en general el cuerpo se empieza a alargar y pierde la forma esférica de las etapas previas (Suárez-Morales, 2015). La etapa de copepodito transcurre en 48 horas. La longitud promedio de la etapa CI a CV va de las 248 µm a las 485 µm de LT, mientras que AP de 102 µm a 131 µm, es importante destacar que las hembras adultas son más anchas que los machos adultos. El tamaño y forma de los copepoditos los separan de las etapas naupliares al aparecer apéndices nadadores. Los organismos en esta etapa se caracterizan por presentar similitud a la etapa de adulto, pero con menor talla. Es fácil identificar claramente los segmentos corporales denominados prosoma, urosoma y la furca caudal. El sexo de los ejemplares se reconoce a partir de la etapa CIII, pues en la etapa adulta presentan dimorfismo sexual, observándose una gran diferencia en la primera antena del macho y la hembra. La modificación de la antena en los machos es principalmente para sujetar a la hembra al momento de la cópula. Por otro lado, el prosoma del macho es más angosto que el de la hembra. Esta condición de dimorfismo se enfatiza que el dimorfismo sexual es más

pronunciado en los Cyclopoida que en los Calanoida y Harpacticoida (Suárez-Morales, 2015). La especie aislada por tener un ciclo de vida corto la hace susceptible de ser utilizada como alimento vivo en el cultivo de peces marinos, además de presentar nauplios con tallas menores a 100  $\mu\text{m}$  y su producción masiva es relativamene fácil.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados generados en este estudio permiten un acercamiento al conocimiento del zooplancton nativo y su relación con los factores que determinan su distribución, por otro lado, el aislamiento y cultivo de un copépodo nativo nos permite una ventana de oportunidades para usarlo como alimento vivo en la etapa larvaria de Centropómidos así procurar disminuir las altas mortalidades que presentan las etapas larvarias de peces marinos en cautiverio.

Las asociaciones del zooplancton colectado en la costa de Tabasco presentaron mayor abundancia relativa durante la estación de tormentas de verano y estuvo asociado a baja salinidad principalmente por los altos volúmenes de descarga que aporta el sistema Grijalva-Usumacinta. Los grupos taxonómicos más abundantes y frecuentes a lo largo del año fueron los Copepoda, Bivalvia, Trematoda y Chaetognatha, mientras que las larvas de peces aparecieron de manera ocasional en la temporada de lluvias.

El aislamiento del copépodo *A. panamensis* se logró después de diversas experiencias, hasta obtener una cepa pura de la especie. *A. panamensis* se logró aclimatar con éxito a las condiciones de cultivo sometida y completó su ciclo de vida en todas las condiciones de cultivo.

La especie *A. panamensis* presenta preferencia por aguas cálidas (32°C) y salinidad media (28-32 de salinidad).

La alta capacidad productiva de *A. panamensis* observada en este ensayo permite visualizar el potencial para el escalamiento de la producción y evaluación como alimento vivo para larvicultura de peces tropicales.

Los nauplios y copepoditos pueden ser una alternativa de alimentación de los centropómidos en sus etapas larvarias por presentar talla pequeña (83 a 200  $\mu\text{m}$ ).

Otra característica conveniente es que presenta un ciclo de vida corto que los hace susceptibles de producción masiva rápida. Consideramos que *A. panamensis* es una especie apta para ser usada como alimento vivo; sin embargo, se requiere demostrar su viabilidad con larvas de diferentes especies de peces.

La especie presenta un ciclo de vida corto (6 días a 28°C y 28 de salinidad), pasando de nauplio a organismo adulto en 6.0 días.

En pruebas a escala piloto se logró producir masivamente *A. panamensis* en tanques con capacidad de mil litros, alcanzando una densidad máxima de 11.600 Cop/L.

Se elaboró un **Protocolo** de producción masiva de *Apocyclops panamensis*.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## REFERENCIAS GENERALES

- Álvarez-Fernández, S., Licandro P., Van Damme, C.J.G. & Hufnagl, M. (2015). Effect of zooplankton on fish larval abundance and distribution: a long-term study on North Sea herring (*Clupea harengus*). *ICES Journal of Marine Science*, 72(9): 2569-2577. doi: 10.1093/icesjms/fsv140.
- Alvariño, A. (1980). The relation between the distribution of zooplankton predators and anchovy larvae. Reports-California. Cooperative Oceanic Fisheries Investigations (USA), 21: 150-160.
- APHA, AWWA, WPCF. (1992). Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater analysis. American Public Health Association. Washington DC. 19 th. Edition. 1193 p
- Ayala-Pérez, L. A., Terán-González, G.J., Flores-Hernández, D., Ramos-Miranda, J. & Sosa-López, A. (2012). Variabilidad espacial y temporal de la abundancia y diversidad de la comunidad de peces en la costa de Campeche, México. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(1): 63-78. doi:10.4067/S0718-560X2012000100007.
- Báez, P. 1997. Key to the families of decapod crustacean larvae collected off northern Chile during an El Niño event. 1. *Investigaciones Marinas*, 25: 167-176. doi: 10.4067/S0717-71781997002500012.
- Barba E., Juárez-Flores, J. y Estrada-Loreto F. (2010). Distribución y abundancia de crustáceos en humedales de Tabasco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. Vol. 81.
- Berasain, G., Velasco, C., Shiroyo, Y., Colautti, D., & Lenicov, M. R. (2006). Cultivo intensivo de juveniles de Pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) en estanques. In *Actas del IV Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura*. Available at <http://www.civa2006.org> (accessed 1 April 2016).
- Biggs, D.C., Zimmerman, R.A., Gasca, R., Suárez-Morales, E., Castellanos, I. & Leben, R.R. (1997). Note on plankton and cold-core rings in the Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin*, 95(2): 369-375.

- Boltovskoy, D. (1981). Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental. Publicación Especial del Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata, Argentina. Mar del Plata, 936 pp.
- Botello, A.V. (Ed.). (2005). Golfo de México: Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco.
- Caballero-Chávez, V. (2012). Evaluación de la pesquería de robalo blanco *Centropomus undecimalis* en Ciudad del Carmen, Campeche. *Ciencia Pesquera*, 20(2): 35-42.
- Carta Nacional Pesquera, Diario oficial de la Federación. México, 11 de junio del 2018. 286 pp.
- Castellanos, I.A. & Gasca, R. (2002). Eufáusidos (Crustacea: Malacostraca) del centro y sur del mar Caribe mexicano. *Revista Biología Tropical*, 50(1): 77-85.
- Castro, B. T., De Lara, A. R., Castro, M. G., Castro, M. J., & Malpica, S. A. (2003). Alimento vivo en la acuicultura. *Contactos*, 48, 27-33.
- Conde-Porcuna, J.M., Ramos-Rodríguez, E. & Morales-Baquero R. (2004). El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. *Revista Ecosistemas*, 13(2): 23-29.
- Contreras-Espinoza, B. (2016). Variación espacio-temporal de la estructura comunitaria del zooplancton y su relación con las variables hidrográficas en la desembocadura del río Jamapa, Veracruz, en dos temporadas climáticas (nortes y lluvias) Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Tesis de Doctorado, Universidad Veracruzana, Veracruz, pp. 90.
- Contreras-García, M. D. J., Contreras-Sánchez, W. M., Hernández-Vidal, U., & Mcdonal-Vera, A. (2015). Inducción de la reproducción del robalo blanco (*Centropomus undecimalis*) en cautiverio usando implantes de GnRH-a. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 2(6), 357-362.
- Contreras-García, M. D. J., Sánchez, W. M. C., Vidal, U. H., Rodríguez, L. A., Vera, A. M., López, J. M. V., & Patiño, R. (2014). Evaluación de la calidad espermática del robalo chucumite (*centropomus parallelus*) usando implantes de gnrh-a bajo condiciones de laboratorio. *Kuxulkab'*, 17(32).
- Contreras-Sánchez, W. M., Contreras-García, M. J., Mcdonal-Vera, A., Hernández-Vidal, U., Cruz-Rosado, L. y Martínez-García, R. (2011). Manual para la producción de robalo

- blanco (*Centropomus undecimalis*) en cautiverio, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 31.
- Conway, D.V.P. (2012). Marine zooplankton of southern Britain. Part 1: Radiolaria, Heliozoa, Foraminifera, Ciliophora, Cnidaria, Ctenophora, Platyhelminthes, Nemertea, Rotifera and Mollusca. A.W.G. John (ed.). Occasional Publications. Marine Biological Association of the United Kingdom, No. 25, Plymouth, United Kingdom, 138 pp.
- Cota-Meza, M.S., Fernández-Álamo, M.A. & Funes-Rodríguez, R. (2015). Abundancia espacio temporal de *Flaccisagitta enflata* y de la comunidad Chaetognatha en un ciclo circadiano en el Sistema Lagunar de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. *Hidrobiológica*, 25(3): 417-426.
- Cotrim da Cunha, L., Buitenhuis, E.T., Le Quéré, C., Giraud X. & Ludwig, W. (2007). Potential impact of changes in river nutrient supply on global ocean biogeochemistry. *Global Biogeochemical Cycles*, 21(4): GB4007. doi: 10.1029/2006GB002718.
- Denis, J., Vallet, C., Courcot, L., Lefebvre, V., Caboche, J., Antajan, E. Marchal P. & Loots, C. (2016). Feeding strategy of Downs herring larvae (*Clupea harengus* L.) in the English Channel and North Sea. *Journal of sea research*, 115, 33-46.
- Espinosa-Fuentes, M. D. L. L., Flores-Coto, C., Zavala-García, F., Sanvicente-Añorve, L., & Funes-Rodríguez, R. (2013). Seasonal vertical distribution of fish larvae in the southern Gulf of Mexico. *Hidrobiológica*, 42-59.
- Espinosa-Fuentes, M.L., Flores-Coto, C., Sanvicente-Añorve, L. & Zavala-García, F. (2009). Vertical distribution of zooplankton biomass and ichthyoplankton density during an annual cycle on the continental shelf of the southern Gulf of Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(2), 477-488.
- Estrada, A.E.C., Rodríguez, O.O.D., Bencomo, R.R., Amador, H.T. & Olego, J.C. (2009). Caracterización de la temperatura superficial del mar en el golfo de México, mar Caribe y Atlántico cercano. *Revista Cubana de Meteorología*, 15(1): 45-58.
- FAO. 2012. El Estado Mundial de la Pesca y Acuicultura. Roma, FAO. 251 p.
- Fernández, D., Escribano, R. & Hidalgo, P. (2002). Distribución de eufáusidos en el sistema de surgencia frente a la península de Mejillones (23°S) asociada a condiciones previas y durante El Niño 1997-98. *Investigaciones Marinas*, 30(1): 25-43.

- Flores-Coto, C., Espinosa-Fuentes, M.D.L.L., Zavala-García, F. & Sanvicente-Añorve, L. (2009). Ictioplancton del sur del golfo de México: Un compendio. *Hidrobiológica*, 19(1): 49-76.
- Flores-Coto, C., Gutiérrez, R.M., González-Félix, M., Sanvicente-Añorve, L. & García, F. Z. (2000). Annual variation of ichthyoplankton assemblages in neritic waters of the southern Gulf of Mexico. *Caribbean Journal of Science*, 36(3/4): 233-243.
- Flores-Coto, C., Sanvicente-Añorve, L. & Sánchez-Ramírez, M. (2010a). Appendicularian distribution and diversity in the southern Gulf of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81(1): 123-131.
- Flores-Coto, C., Sanvicente-Añorve, L., Vázquez-Gutiérrez, F. & Sánchez-Ramírez, M. (2010b). Mesoscale distribution of *Oikopleura* and *Fritillaria* (Appendicularia) in the Southern Gulf of Mexico: spatial segregation. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 45(3): 379-388.
- Galtsoff, P.S. 1954. Gulf of Mexico, its origins, waters and marine life. *Fishery Bulletin*. 89(55): 1-604.
- Garrido-Mora, A., Félix-Torres, F.J., Sánchez-Alcudia, Y., Sánchez-Martínez, A.J., Ramos-Palma, J.L., Granados-Berber, A., Florido-Araujo R.A. Ruiz-Carrera V., & Acosta-Díaz, L. (2014). Abundancia poblacional del ostión (*Crassostrea virginica*) en la laguna Mecoacán del Estado de Tabasco, México. *Kuxulkab*, 17(32): 97-100.
- Gasca, R., Castellanos-Osorio, I.A. & Biggs, D.C. 2001. Euphausiids (Crustacea, Euphausiacea) and summer mesoscale features in the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Sciences*, 68(3): 397-408.
- Gassman, J., Rojas, H. L., & Padrón, D. (2017). Reproducción de los robalos *Centropomus undecimalis* y *C. ensiferus* (Perciformes: Centropomidae) en una laguna costera tropical. *Revista de Biología Tropical*, 65(1), 181-194.
- Glenn Schipp. 2006. *The Use of Calanoid Copepods in Semi-Intensive, Tropical Marine Fish Larviculture*.
- Goswami, S. C. (2004). *Zooplankton Methodology, Collection & identification. A field manual*.
- Gutiérrez, M. E. M. (2006). Alimento vivo para peces. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 2(1), 43-63.



- Hernández-Arana, H.A., Rowden, A.A., Attrill, M.J., Warwick, R.M., & Gold-Bouchot, G. (2003). Large-scale environmental influences on the benthic macroinfauna of the southern Gulf of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58(4), 825-841.
- Hernández-Flores, R.M., McLelland, J.A. & Suárez-Morales E. 2009. Planktonic Chaetognatha of the Gulf of Mexico. In: Felder, D.L. & D.K. Camp (eds.), *Gulf of Mexico—Origins, Waters, and Biota*, pp. 1165–1171.
- Hernández-Vidal, U., Chiappa-Carrara, X. & Contreras-Sánchez, W.M. 2014. Reproductive variability of the common snook, *Centropomus undecimalis*, in environments of contrasting salinities interconnected by the Grijalva-Usumacinta fluvial system. *Ciencias Marinas*, 40(3): 173-185. doi:/10.7773/cm.v40i3.2381.
- Hernández-Vidal, U., Leshner-Gordillo, J., Contreras-Sánchez, W. M., & Chiappa-Carrara, x. 2014. Variabilidad genética del robalo común *Centropomus undecimalis* (Perciformes: Centropomidae) en ambiente marino y ribereño interconectados.
- Hopkins, T. L. 1982. The vertical distribution of zooplankton in the eastern Gulf of Mexico. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 29(9), 1069-1083.
- INAPESCA 2002 [www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/.../13Memorias%20RNSCPM](http://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/.../13Memorias%20RNSCPM). Consultado el 10 de noviembre del 2014.
- Jackson, J.M. & P.H. Lenz. (2016). Predator-prey interactions in the plankton: larval fish feeding on evasive copepods. *Scientific reports*, 6 (33585): 1-11.
- Kennedy, S.B., Tucker, J.W.Jr., Neidig, C.L., Vermeer, G.K., Cooper, V.R., Jarrell, J.L. & Sennett, D.G. (1998). Bacterial management strategies for stock enhancement of warm water marine fish: a case study with common snook (*Centropomus undecimalis*). *Bulletin of Marine Science*, 62(2): 573-588.
- Lindley, L. C., Phelps, R. P., Davis, D. A., & Cummins, K. A. (2011). Salinity acclimation and free amino acid enrichment of copepod nauplii for first-feeding of larval marine fish. *Aquaculture*, 318(3-4), 402-406.
- Lohrenz, S.E., Dagg, M.J. & Whitledge, T.E. (1990). Enhanced primary production at the plume/oceanic interface of the Mississippi River. *Continental Shelf Research*, 10 (7).
- López, J. M. V., González, C. A. Á., Sánchez, W. M. C., Patiño, R., Franyutti, A. A. H., & Vidal, U. H. (2012). Feminización de juveniles del Robalo Blanco *Centropomus*

- undecimalis (Bloch 1792) usando 17 $\beta$ -estradiol. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 4(1), 83-93.
- Lorán-Núñez, R. M., Martínez-Isunza, F. R., Valdez-Guzmán, A. J., Garduño-Dionate, M., & Martínez-Lorán, E. R. (2012). Reproducción y madurez sexual del róbalo prieto (*Centropomus poeyi*) y róbalo blanco (*C. undecimalis*) en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz (2005-2007). *Ciencia Pesquera*, 20(1), 49-64.
- Lozano-Cobo, H., Del Prado, M. D. C. G., Sánchez-Velasco, L. & Gómez-Gutiérrez, J. (2017). Seasonal variation in chaetognath and parasite species assemblages along the northeastern coast of the Yucatan Peninsula. *Diseases of Aquatic Organisms*, 124(1), 55-75. doi: 10.3354/dao03106.
- Luchini, L., & Panné-Huidobro, S. (2008). Perspectivas en acuicultura: nivel mundial, regional y local. Dirección de Acuicultura, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, SAGPyA, Buenos Aires.
- McCune, B. & Mefford, M.J. (2002). *PC-ORD: Multivariate analysis of ecological data*. MjM Software Design.
- Mille-Pagaza, S. & Carrillo-Laguna, J. (2003). Distribución y abundancia de los quetognatos de la plataforma Tamaulipeca y océano adyacente en abril de 1987. *Hidrobiológica*, 13(3): 223-229.
- Monreal-Gómez, M. A., de León, D. S., Padilla-Pilotze, A. R. & Alatorre-Mendieta, M. A. (1992). Hidrografía y estimación de corrientes de densidad en el sur de la Bahía de Campeche, México. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada BC. *Ciencias Marinas*, 18: 115-133.
- Monreal-Gómez, M.A. & Salas de León, D.A. (2004). Golfo de México, circulación y productividad. *Ciencias*, 76: 24-33.
- Morales-Serna, F. N. & Gómez, S. (2012). Generalidades de los copépodos parásitos de peces en aguas profundas y el caso de *Lophoura brevicollum* (Siphonostomatoida: Sphyrriidae). Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico mexicano. In: Zamorano, M. E. Hendrickx & M. Caso (eds). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 145- 158.

- Muñoz-Salinas, E. & Castillo, M. (2015). Streamflow and sediment load assessment from 1950 to 2006 in the Usumacinta and Grijalva Rivers (Southern Mexico) and the influence of ENSO. *CATENA*, 127, 270–278.
- Okolodkov, Y. B., Aké-Castillo, J. A., Gutiérrez-Quevedo, M. G., Pérez-España, H. & Salas-Monreal, D. (2011). Annual cycle of the plankton biomass in the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, southwestern Gulf of Mexico. *Zooplankton and phytoplankton: Types, characteristics and ecology*. Nova Science Publishers, Inc. New York, USA, pp. 63-88.
- Ordóñez-López, U. & Ornelas-Roa. (2003). Variaciones de la comunidad de copépodos plánticos en el gradiente estuarino-costero de Celestún, Yucatán, México. *Hidrobiológica*, 13(3): 231-238.
- Ortner, P.B., L.C. Hill & S.R. Cummings. (1989). Zooplankton community structure and copepod species composition in the northern Gulf of Mexico. *Cont. Shelf. Res.* 9(4): 387-402.
- Pais de Lira J. G. (2002). Influencia da dieta na reprodução e crescimento do copepode, *Acyclops procerus*, e seu potencial como aliemnto na larvicultura do robalo-peva, *Centropomus parallelus*. Tesis de Pósgrado em aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina Cnetro de Ciencias Agrarias, 41 p.
- Perry, R.A. (2003). A guide to the marine plankton of south Californian. Marine Science Center, Ocean Globe and Malibu High School.
- Phelps, R. P., Sumiarsa, G.S., Lipman, E.E., Lan, H. P., Moss, K.K. & Davis, A.D. (2005). Intensive and extensive production techniques to provide copepod nauplii for feeding larval red snapper *Lutjanus campechanus*. In: Lee, C.-S., P.J. O'Bryen, N.H. Marcus (Eds.), *Copepods in Aquaculture*, pp. 151-168.
- Pireto, M., & Atencio, V. (2008). Zooplancton en la larvicultura de peces neotropicales. *Revista MVZ Córdoba*, 13(2).
- Prieto, M., Castaño, F., Sierra, J., Logato, P., Botero. J. (2006). Alimento vivo en la larvicultura de peces marinos: copépodos y mesocosmos. *Revista MVZ Córdoba*, enero-junio 30-36 p.
- Puello-Cruz, A., González Rodríguez, B. y A. García. (2008). Investigación en Producción y Uso de Copépodos en Larvicultura. 90-107pp. Editores: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis

- Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Villarreal Cavazos, Juan Pablo Lazo y Ma. Teresa Viana. Avances en Nutrición Acuícola IX. Simposio Internacional de Nutrición Acuícola. 24-27 noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. (pp. 24-27).
- Purcell, J. E. & Grover, J.J. (1990). Predation and food limitation as causes of mortality in larval herring at a spawning ground in British Columbia. *Marine Ecology Progress Series*, (59): 55–61. doi: 10.3354/meps059055.
- Reartes J. (1987). Evaluación del pejerrey (*Basilichthys bonariensis*) para el cultivo en estanques. En: Verreth JA, ed. Taller de Trabajo sobre acuicultura en América Latina. Inf. Found. Sci. (IFS):149-57
- Rowe, G.T. (2017). Offshore plankton and benthos of the Gulf of Mexico. In *Habitats and biota of the Gulf of Mexico: Before the Deepwater Horizon oil spill*, Springer, New York, NY, pp. 641-767.
- Santos, G. S., Brito-Lolaia, M., & Schwamborn, R. (2017). Two new methods for sampling zooplankton and larval assemblages in tropical reef ecosystems. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 491, 27-37.
- Sanvicente-Añorve, L., Alba, C., Alatorre, M. A. & Flores-Coto, C. (2007). Cross-shelf and vertical distribution of siphonophore assemblages under the influence of freshwater outflows in the southern Gulf of Mexico. *Hydrobiologia*, 586(1), 69-78.
- Sato, N.E., Hernández, D. & Viñas, M.D. (2011). Hábitos alimentarios de *Sagitta friderici* Ritter-Záhony en las aguas costeras de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 40(1): 59-74.
- Schipp, G. (2006). The use of calanoid copepods in semi-intensive, tropical marine fish larviculture. Avances em nutrición acuícola. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, Monterrey, Nuevo León, 84-94.
- Sherman, K., Smith, W., Morse, W., Berman, M., Green, J. & Ejsymont, L. (1984). Spawning strategies of fishes in relation to circulation, phytoplankton production, and pulses in zooplankton off the northeastern United States. *Marine Ecology Progress Series*. Oldendorf, 18(1): 1-19.
- Smith, D. G. (1977). A guide to marine coastal plankton and marine invertebrate larvae. Kendall/Hunt Publishing Company, Iowa.

- Smith, D.G. (1980). Early larvae of the tarpon, *Megalops atlantica* Valenciennes (Pisces: Elopidae), with notes on spawning in the Gulf of Mexico and the Yucatan Channel. *Bulletin of Marine Science*, 30(1): 136-141.
- Støttrup, J.G. (2006). A review on the status and progress in rearing copepods for marine larviculture. Advantages and disadvantages among calanoid, harpacticoid and cyclopoid copepods. En: Cruz-Suárez L.E., D.M. Ricque, M. Tapia-Salazar, M.G. Nieto-López, D.A. Villarreal-Cavazos, AC. Puello-Cruz & A. García-Ortega (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. 15-17. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, Mexico. ISBN 970-694-333-5.
- Streble, H. Y Dieter K. (1987). *Atlas de los Microorganismos de agua dulce*. Ed. Omega. Barcelona. 337pp.
- Suárez-Morales, E. (2000). Copépodos, seres ubicuos y poco conocidos. *CONABIO. Biodiversitas*, 29, 7–11.
- Suárez-Morales, E., Fleeger J.M. & Montagna P.A. (2009). Free-living Copepoda of the Gulf of Mexico. In: D.L. Felder & D.K. Camp (eds.), *Gulf of Mexico: Its origins, waters, and biota*, Biodiversity, Texas A & M, University Press, College Station, Texas, pp.41–870.
- Temple, S., Cerqueira, V. R., & Brown, J. A. (2004). The effects of lowering prey density on the growth, survival and foraging behaviour of larval fat snook (*Centropomus parallelus* poey 1860). *Aquaculture*, 233(1), 205-217.
- Torrentera, L. y Tacon, A. (1989). La producción de alimento vivo y su importancia en acuicultura. Programa Cooperativo gubernamental FAO-Italia. GCP/RLA/075/ITA.DOC. No. 12, 90.
- Vanacor-Barroso, M., Carvalho, C. V. A. D., Antoniassi, R., & Ronzani-Cerqueira, V. (2017). The copepod *Acartia tonsa* as live feed for fat snook (*Centropomus parallelus*) larvae from notochord flexion to advanced metamorphosis. *Latin american journal of aquatic research*, 45(1), 159-166.
- West, R.C., Psuty, N.P. & Thom, B.G. (1985). *Las tierras bajas de Tabasco: Gobierno del Estado de Tabasco*. Biblioteca Básica Tabasqueña, pp. 409.
- Wittenrich, M. L., Rhody, N. R., Turingan R. G., & Main, K. L. (2009). Coupling osteological development of the feeding apparatus with feeding performance in common

snook, *Centropomus undecimalis*, larvae: identifying morphological constraints to feeding. *Aquaculture*, 294(3), 221-227.

Yáñez-Arancibia, A. & Day J.W. (2004). Environmental sub-regions in the Gulf of Mexico coastal zone: the ecosystem approach as an integrated management tool. *Ocean & Coastal Management*, 47(11-12), 727-757.

Yúfera, M. & Darías, M. J. (2007). The onset of exogenous feeding in marine fish larvae. *Aquaculture*, 268(1-4), 53-63.

Zamora, A.G. & Aranda, D.A. (2000). Producción somática de dos especies de *Crassostrea virginica* e *Ischadium recurvum* (Bivalvia) en Mecoacán, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical*, 48(1), 65-75.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## ANEXO 1

### NORMAS EDITORIALES DE LA REVISTA LAJAR

#### AUTHOR GUIDELINES

#### GENERAL PUBLISHING INSTRUCTIONS TO THE AUTHORS

Latin American Journal of Aquatic Research - LAJAR is an “Open Access” journal that publishes in English language, original research articles, reviews and short communications on aquatic science, which contain results of research conducted in aquaculture or in oceanic and coastal marine waters of Latin America.

#### Types of manuscripts

LAJAR publishes research articles, review articles and scientific short communications.

**Research Article.** An article should contain an abstract (250 words maximum) and keywords, followed by a text with a defined structure, details of which are given below. Preferably, the manuscript should not exceed 30 pages, including figures and tables.

**Review Article.** Reviews should contain an abstract (250 words maximum) on the state of knowledge of a specific topic of research and keywords, followed by a continuous freestyle text. This manuscript should not exceed 30 pages, including figures and tables.

**Short Communication.** These are short papers on a specific topic that describe preliminary results, new findings or new methodologies. Communications must include an abstract (200 words maximum) and keywords. Different segments of the paper (introduction, methodology, results and discussion) should be written continuously in a single section. Length of the manuscript should be under 10 pages, including figures and tables.

#### Article structure

Structure of the manuscript should follow the following order:

Title: Brief and descriptive. A running head of no more than 50 characters should be provided.

Author names and affiliation: Indicate name, last name (paternal only, when applicable), affiliation, address, and e-mail address of the corresponding author.

Abstract: Must contain a maximum of 250 words, indicating purpose, main results or findings and conclusions presented in the manuscript.

Keywords: Maximum of six, arranged in order of importance.

Introduction

Materials and Methods

Results

Discussion

Conclusions (optional)

Acknowledgements

Citations: Consider only published works or in press. References must be ordered chronologically indicating first author's last name and year of publication (e.g., Muñoz et al., 2009; Alvarez, 2010; Johnson & Smith, 2013; Palmer, 2015a,b).

References: Include only documents mentioned in the text, references must be organized alphabetically based on the first author's last name. In the case of two or more authors, initials must be indicated after their last names; use a comma to separate each author.

Examples of different formats for different types of frequently used references:



a) References of articles cited in the text must indicate: author(s), year of publication, article title, complete name of the journal, volume (number between parentheses) and page numbers. Add DOI number if pertinent, to facilitate internet search.

Huang, D. & Roy, K. 2013. Anthropogenic extinction threats and future loss of evolutionary history in reef corals. *Ecology and Evolution*, 3(5): 1-10. doi: 10.1002/ece3.527

Andrade, I., Sangrá, P., Hormazábal, S.E. & Correa-Ramírez, M.A. 2014. Island mass effect in the Juan Fernández Archipelago (33°S), Southeastern Pacific. *Deep-Sea Research I*, 84: 86-99. doi: 10.1016/j.dsr.2013.10.009

b) Book references must indicate: Author(s), year of publication, book title, editorial, city.

Randall, J.E. & Cea, A. 2011. *Shore fishes of Easter Island*. University of Hawaii Press, Honolulu.

c) Articles published in books must indicate: Author(s), year of publication, article title, book title, editorial, city, number of pages.

Andersen, R.A. & Kawachi, M. 2005. Traditional microalgae isolation techniques. In: Andersen, R.A. (Ed.). *Algal culturing techniques*. Academic Press, New York, pp. 83-89.

d) Articles published on the Internet must indicate: Author(s), year of publication, article title, full URL, date of last review.

R Core Team. 2016. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. [<http://www.R-project.org>]. Reviewed: June 12, 2018.

Figures and tables

Graphics, maps, schemes, drawings or photographs must be referred to as Figure, abbreviated in the text as Fig.

Figures should be numbered consecutively using Arabic numerals; captions should be self-explanatory. Texts and symbols inside a figure must be written in Arial characters and have a size that guarantees legibility in case of downsizing. If the figure includes more than one image, these must be characterized with lowercase letters (e.g., a, b, c, etc.). Figures should be preferably sized as close to the final version as possible. Figures can be a maximum of 15 cm wide by 21 cm high (including caption).

Images (photographs) must be in JPG or PNG format (black and white or color) and be in high resolution (keep to a minimum of 300 dpi) considering an adequate range of tones and contrasts.

Tables in Excel or Word must be numbered consecutively with Arabic numerals. Captions should be self-explanatory. The heading of each column must express clearly its content and measurement units.

#### Submission

- Manuscripts are to be submitted exclusively online on the Journal's website ([lajar.ucv.cl](http://lajar.ucv.cl)) (Online Submissions). The manuscript must be written in English, in Microsoft Word format, in Times New Roman size 12, with 1.5 spacing, on letter size paper.
- Tables and figures should be included at the end of the text.
- Authors should suggest a minimum of six potential reviewers of recognized competence in the area of knowledge of the proposed, indicating name and e-mail address.
- Authors must ensure that any submitted article has not been published previously and is not under consideration for publication elsewhere.

## Review Process

Manuscripts are to be submitted exclusively online on the Journal's website (lajar.ucv.cl). Reception of articles will be acknowledged by e-mail to the corresponding author. Before its acceptance, all submitted manuscripts will be assessed by the editor and co-editor in order to determine if they are suitable for the Journal. Documents considered as adequate will enter an evaluation process led by associate editors with recognized competence in the proposed area of knowledge, considering the opinion of at least two or three international researchers, considered experts in the proposed subject of the manuscript.

Manuscripts will be evaluated as excellent, good, regular or poor, according to the following aspects:

- Originality.
- Relevance to scientific knowledge in aquatic research.
- Formal Aspects: Correct and understandable language. Title and abstract should be sufficiently informative. References must be properly cited.
- Background: Theoretical background is adequate, with clear hypothesis and objectives.
- Methodology: Materials and methods are appropriate and adequately described.
- Results: Data is concise and sufficient. The use of statistics analysis is appropriate.
- Figures: Figures and/or photographs are clear and of good quality, and include only data essential for its comprehension.
- Discussion: Is clear and correctly interpreted.
- References: 70% or more of the references are up to date.

The reviewed article may be: accepted; acceptable with minor changes; acceptable with major changes; or rejected (doesn't meet journal's editorial standards, preliminary results, plagiarism).

If the paper is accepted with minor or major changes, authors will be informed and will have a maximum of 60 days to reply all observations and return a new, corrected version of the manuscript to the corresponding associate editor for a final review.

#### MANUSCRIPTS ACCEPTED FOR PUBLICATION

Once accepted for publication, authors must forward the final text with all corrections made and accepted by the assigned associate editor.

#### GALLEY PROOFS

Proofs will be sent by the editor to the corresponding author for a final review. Final correction of the manuscript is the exclusive responsibility of the corresponding author and any modification must be informed to the editor of the journal.

#### PUBLICATION FEE

Papers accepted are subjected to a publication charge of USD350. This fee is independent of the length of the manuscript and the number of figures and tables. This amount must be paid once the corresponding author has received the print proofs.

#### SUBMISSION PREPARATION CHECKLIST

As part of the submission process, authors are required to check off their submission's compliance with all of the following items, and submissions may be returned to authors that do not adhere to these guidelines.

I have the Chief-Editor presentation letter, signed by corresponding author.

I have the 6 experienced reviewer names required (Name, address, and email), NOTE: you must use the field below entitled "Comments to editor / Reviewer proposal" at the end of this page.

The file is in MS Word file type, interlined text at 1.5, Font: Times New Roman 12 pt.

I have the short title in the main language of the article.

The article title is included in English.

The article abstract length is under 250 words, in English, and highlights results and obtained discoveries.

I added the 6 keywords required in English ordered by relevance.

Article contents are ordered in the following chapters, i.e.

Introduction

Materials and methods

Results

Discussion

Conclusions (optional)

Aknowledgement

References

Tables are included in Excel or Word File Type, and their leyends are in English.

Figures have 300 dpi as a minimum resolution, placed at the end of the article text with their leyends in English written beneath it, and in the following file types; CorelDRAW, Excel, Surfer, Sigma plot, JPG or PNG.

I accept to pay USD350,00 once upon I receive the galley proofs of my article.

## NORMAS EDITORIALES DE LA REVISTA ERA

### 1. FORMAT OF THE SCIENTIFIC ARTICLE

The original results of experimental investigations that are presented in the form of scientific articles must be of national or international significance and, above all, be supported by information obtained by variable and valid scientific procedures.

Order -Structure the manuscript in the following order: running (short) title, main title in Spanish and English, author(s), resumen, palabras clave, abstract, keywords, introduction, materials and methods, results, discussion, conclusions, acknowledgments (optional) and literature cited. The maximum length of the manuscript is 25 letter-size pages, including Tables and Figures on separate sheets at the end of the manuscript.

Resumen - The resumen should include the objective, methodology, outstanding results, main conclusion, limitations of the study or implications and originality, all in a single paragraph, with a maximum of 250 words.

Palabras clave. Place five words that are not contained in the title, in alphabetical order and separated by a comma.

Abstract y Keywords: - The content of these sections should be the same as the abstract and keywords in Spanish. The authors are responsible for the translation into English.

Introduction - This section must clearly and briefly specify why and for what the study was conducted. It must contain the background, the justification and the objectives of the work. That is, it must contain the scientific, technical, social or economic reasons for the study. Include relevant literature used for the study, preferably from the last five years and published in scientific journals of recognized prestige. It is recommended to select references directly connected to the topic and avoid multiple citations (two or more citations) to support simple or widely known concepts.

Materials and Methods - This section should indicate where, when and how the study was conducted (include the study area location, experimental design, evaluated variables, statistical analysis, etc.). The information in this section must be consistent with the study's objective. It must describe in a concise, clear and complete manner the materials and methodology used, in such a way that the study is reproducible by other researchers. It is

necessary to include references that expand or detail the information of some method, especially when describing statistical or laboratory methods.

**Results** - The results correspond to the information obtained and analyzed from the point of view of statistics, which are generally organized in the form of Tables and Figures. The textual description should focus on highlighting the relevant aspects of the results, and not on making a repetition in prose of the data presented in Tables and Figures.

**Discussion** - This section constitutes the core part, as it is here where the results obtained from the study are interpreted, according to the objective. When the results differ from those obtained by other authors, the possible causes should be discussed, without falling into speculations that lack sustenance. In general, the author must take into account that it is not enough to present data but must explain them based on their relevance and compare them with relevant and current studies.

**Conclusions** Briefly and concisely state the specific contributions to the yield of knowledge, backed by the results obtained, all written in a paragraph. It is not acceptable to include suggestions for future studies in this section.

**Acknowledgments** - They are optional. They are used to give credit to people and institutions that provided funding, advice or help during the study.

**Literature Cited** - It is integrated in alphabetical and chronological order with all the literature cited in the text.