



# UNIVERSIDAD DEL MAR

## Campus Puerto Ángel

---

---

### **DISTRIBUCIÓN TRIDIMENSIONAL DE LARVAS DE *Bregmaceros bathymaster* (Pisces: Bregmacerotidae) EN LA ZONA DE MÍNIMO DE OXÍGENO SOMERO AL NORTE DE CABO CORRIENTES (PACÍFICO MEXICANO)**

Tesis

Que para obtener el Título Profesional de  
Licenciada en Biología Marina

P r e s e n t a

Ilse Anitzel Ramírez Castelán

Directora

Dra. Laura Sánchez Velasco

Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Oaxaca 2019

*Los desafíos son los que hacen la vida interesante, y superarlos es lo que hace la vida significativa.*

*Joshua J. Marino*

*“Después de todo, ¿qué es un científico entonces? Es un Hombre curioso que mira a través del ojo de una cerradura, la cerradura de la naturaleza, tratando de saber qué es lo que sucede.”*

*Jacques Yves Cousteau*

## **DEDICATORIA**

A mi padre (Celestino), a mi madre (María Eugenia) y a mi hermano (Aarón Isaías) por su apoyo incondicional, aun a la distancia siempre han estado conmigo en todos los momentos de mi vida, sobre todo por enseñarme que a pesar de los problemas siempre hay una solución y que todas las situaciones y vivencias suceden para poder ser mejores personas y que nunca debemos abandonar nuestros sueños y metas a menos que sea por decisión propia. Los amo con todo mi corazón y siempre tendrán mi apoyo y mis energías positivas para que cada uno de nosotros alcance una vida con plenitud, realizando las actividades que más anhelan.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad del Mar (UMAR) por la formación académica y por el apoyo para mi desarrollo profesional y personal.

Al proyecto SEP-CONACyT No.236864

INFLUENCIA DE REMOLINOS DE MESOESCALA SOBRE HÁBITATS DE LARVAS DE PECES (CON ÉNFASIS EN ESPECIES DE IMPORTANCIA COMERCIAL) EN LA ZONA DE MÍNIMO DE OXÍGENO DEL OCÉANO PACÍFICO FRENTE A MÉXICO: OCÉANO ABIERTO Y EFECTO DE ISLAS.

Dirigido: Dra. Laura Sánchez Velasco

Al proyecto FRONTERAS DE LA CIENCIA – CONACyT No. 8662

PROBANDO PARADIGMAS SOBRE LA EXPANSIÓN DE LA ZONA DEL MÍNIMO DE OXÍGENO: REDUCCIÓN DEL HÁBITAT VERTICAL DEL ZOOPLANCTON Y SU EFECTO EN EL ECOSISTEMA PELÁGICO MEDIANTE MÉTODOS DE MUESTREO AUTÓNOMOS.

Dirigido: Dra. Laura Sánchez Velasco

Al Programa de Apoyo a Ayudantes del Sistema Nacional de Investigadores Nivel III-CONACyT.

A mi directora, Dra. Laura Sánchez Velasco por todo su apoyo brindado en la realización y culminación de este trabajo, en mi formación profesional y por permitirme ser parte de su equipo de trabajo.

Al equipo de Laboratorio de Ecología y Genética del Zooplancton (LEGOZ) del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN) por su apoyo y sugerencias a este trabajo.

A mi Co-Director, Dr. Antonio López Serrano por su apoyo brindado en mi formación profesional y en la culminación de este trabajo.

A los miembros del comité de revisores, Dra. María Luisa Acosta Leal (UMAR), Dr. Víctor Manuel Godínez Sandoval (CICESE), Dr. Francisco Benítez Villalobos (UMAR) por comentarios y observaciones realizadas a este trabajo.

Al Dr. Horacio Lozano Cobo, por todo el apoyo, comentarios y sugerencias para la elaboración de este documento.

A Gauvain Peláez Morales, por apoyarme y escucharme.

A cada una de las personas que me han brindado su apoyo y sus ánimos, y a todas aquellas personas que forman parte de este trabajo y de mi historia de vida, gracias.

## INDICE

<b>LISTADO DE FIGURAS</b> .....	I
<b>LISTADO DE TABLAS</b> .....	IV
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>1.- INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>2.- ANTECEDENTES</b> .....	6
2.1.- Distribución de peces de la familia Bregmacerotidae .....	6
2.2.- Distribución del zooplancton y de larvas de peces en la ZMO .....	6
2.3.- Distribución del zooplancton y larvas de peces en la ZMO del Pacífico Tropical Oriental .....	7
<b>3.- JUSTIFICACIÓN</b> .....	9
<b>4.- HIPÓTESIS</b> .....	10
<b>5.- OBJETIVO GENERAL</b> .....	10
<b>6.- OBJETIVOS PARTICULARES</b> .....	10
<b>7.- ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	11
<b>8.- MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	12
8.1.- Colecta de datos.....	12
8.2.- Análisis estadísticos.....	15
<b>9.- RESULTADOS</b> .....	17
9.1.- Estructura de la oxiclina en la columna de agua .....	17
9.2.- Distribución del oxígeno disuelto de la columna de agua .....	20
9.3.- Distribución y abundancia de larvas de Bregmaceros bathymaster .....	27
9.4.- Modelo de Correspondencia Canónica (MCC) .....	31
<b>10.- DISCUSIÓN</b> .....	32
<b>11.- CONCLUSIÓN</b> .....	37
<b>12.- REFERENCIAS</b> .....	39

## LISTADO DE FIGURAS

**Fig. 1.** Larvas de *Bregmaceros bathymaster* en etapa de preflexión: A. ~3.6-4.2 mm; flexión: B. ~4.3-5.2 mm; postflexión: C. ~5.3-13 mm por el Laboratorio de Ecología y Genética del Zooplancton (LEGOZ) (CICIMAR-IPN) y adulto: C. 10 cm por Fishbase..... 4

**Fig. 2.** Derrotero de estaciones de muestreo de las cuatro campañas oceanográficas: A) febrero 2010; B) abril 2012; C) junio 2015; D) marzo 2016. .... 13

**Fig. 3.** Estructura vertical de la temperatura durante la campaña oceanográfica de febrero 2010. Las isolíneas negras representan las isotermas. La línea roja representa la profundidad de la oxiclina y la línea verde representa la profundidad de la capa de mezcla: A) transecto paralelo a la costa desde la boca del Golfo de California hasta Cabo Corrientes; B) transecto transversal frente a Jalisco. .... 17

**Fig. 4.** Estructura vertical de la temperatura durante la campaña oceanográfica de abril 2012. Las isolíneas negras representan las isotermas. La línea roja representa la profundidad de la oxiclina y la línea verde representa la profundidad de la capa de mezcla: A) transecto paralelo a la costa; B) transecto transversal frente a Sinaloa; C) transecto transversal frente al sur de Sinaloa. .... 18

**Fig. 5.** Estructura vertical de la temperatura durante la campaña oceanográfica de junio 2015. Las isolíneas negras representan las isotermas. La línea roja representa la profundidad de la oxiclina y la línea verde representa la profundidad de la capa de mezcla: A) transecto paralelo a la costa; B) transecto paralelo a la costa; D) transecto transversal frente al norte de Jalisco; E) transecto transversal frente al sur de Jalisco. .... 19

**Fig. 6.** Estructura vertical de la temperatura durante la campaña oceanográfica de marzo 2016. Las isolíneas negras representan las isotermas. La línea roja representa la profundidad de la oxiclina y la línea verde representa la profundidad de la capa de mezcla: A) transecto

paralelo a la costa; B) transecto transversal frente al norte de Jalisco; C) transecto transversal frente a Jalisco; D) transecto transversal frente al sur de Jalisco. .... 20

**Fig. 7.** Estructura vertical de oxígeno disuelto durante febrero 2010. Las isolíneas negras representan las oxipletas de 0.1 mL L<sup>-1</sup> y 1 mL L<sup>-1</sup>, los círculos en la escala de gris indican la biomasa de larvas de *B. bathymaster*: A) transecto paralelo a la costa; B) transecto transversal frente a Jalisco. .... 21

**Fig. 8.** Densidad de larvas en función de la profundidad y estructura vertical de oxígeno disuelto durante abril 2012. Las isolíneas negras representan las oxipletas de 0.1 mL L<sup>-1</sup> y 1 mL L<sup>-1</sup>, los círculos en la escala de gris indican la biomasa de larvas de *B. bathymaster*: A) transecto paralelo a la costa; B) transecto transversal frente a Sinaloa; C) transecto transversal frente a la costa sur de Sinaloa. .... 22

**Fig. 9.** Estructura vertical de oxígeno disuelto durante junio 2015 las isolíneas negras representan las oxipletas de 0.1 mL L<sup>-1</sup> y mL L<sup>-1</sup>, los círculos en la escala de gris indican la biomasa de larvas de *B. bathymaster*: A) transecto paralelo a la costa; B) transecto paralelo a la costa; D) transecto transversal frente al norte de Jalisco; E) transecto transversal frente al sur de Jalisco..... 24

**Fig. 10.** Estructura vertical de oxígeno disuelto durante marzo 2016. Las isolíneas negras representan las oxipletas de 0.1 mL L<sup>-1</sup> y 1 mL L<sup>-1</sup>, los círculos en la escala de gris indican la biomasa de larvas de *B. bathymaster*: A) transecto paralelo a la costa; B) transecto transversal frente al norte de Jalisco; C) transecto transversal frente a Jalisco; D) transecto transversal frente al sur de Jalisco. .... 26

**Fig. 11.** Abundancia y distribución de larvas de *Bregmaceros bathymaster* de los tres estratos frente a Cabo Corrientes de las cuatro campañas oceanográficas: A) febrero 2010 estrato CM; B) febrero 2010 estrato OXI; C) febrero 2010 estrato H; D) abril 2012 estrato CM; E) abril 2012 estrato OXI; F) abril 2012 estrato H; G) junio 2015 estrato CM; H) junio 2015 estrato



OXI; I) junio 2015 estrato H; J) marzo 2016 estrato CM; K) marzo 2016 estrato OXI; L)  
marzo 2016 estrato H..... 30

## LISTADO DE TABLAS

**Tabla 1.** Resultados de la prueba estadística de Kruskal-Wallis entre la abundancia total de las larvas de *Bregmaceros bathymaster* por estrato (CM, OXI, H) de las campañas oceanográficas (febrero 2010, Abril 2012, junio 2015 y marzo 2016). En rojo se resaltan los resultados significativos ( $p < 0.05$ ). ..... 27

**Tabla 2.** Resultado de la prueba *post-hoc* de Mann-Whitney entre la abundancia total de las larvas de *Bregmaceros bathymaster* por estrato (CM, OXI, H) para la campaña de abril 2012. En rojo se resaltan los resultados significativos ( $p < 0.05$ ). ..... 28

**Tabla 3.** Resultado de la prueba *post-hoc* de Mann-Whitney entre la abundancia de las larvas de *Bregmaceros bathymaster* por estrato (CM, OXI, H) para la campaña de junio 2015. En rojo se resaltan los resultados significativos ( $p < 0.05$ ). ..... 29

**Tabla 4.** Resultados del MCC. Los valores inscritos, representan a las cargas canónicas en las campañas oceanográficas de febrero 2010, abril 2012, junio 2015 y marzo 2016 de la abundancia para para los estadios larvales, preflexión (Pref), flexión (Flex), postflexión (Post) de *B. bathymaster*, salinidad absoluta (SA, g/kg), temperatura potencial (T), Clorofila  $\alpha$  (Chl  $\alpha$ ) y concentración de oxígeno disuelto (OD). ..... 31

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es conocer los cambios en la distribución horizontal y vertical de las larvas de *Bregmaceros bathymaster* en eventos interanuales fríos y cálidos en la Zona Mínimo de Oxígeno al norte de Cabo Corrientes en el Pacífico Oriental Tropical frente a las costas mexicanas. A partir de cuatro campañas oceanográficas realizadas a bordo del B/O “Francisco de Ulloa” en febrero 2010 y abril 2012, y a bordo del B/O “Alpha Helix” en junio 2015 y marzo 2016, se recolectaron datos hidrográficos y muestras de zooplancton. Estas últimas, se colectaron mediante redes cónicas de apertura-cierre con un diámetro de boca de 60 cm y un ancho de malla de 505  $\mu\text{m}$ , en tres estratos definidos previamente en función a la profundidad de la capa de mezcla, de la oxiclina y al estrato hipóxico (oxiplota de 1  $\text{mL L}^{-1}$ ). Se recolectaron un total de 1,058 larvas/10  $\text{m}^2$  de *Bregmaceros bathymaster* en febrero 2010; 19,019 larvas/10  $\text{m}^2$  en abril 2012; 2,803 larvas/10  $\text{m}^2$  en junio 2015 y 1,912 larvas/10  $\text{m}^2$  en marzo 2016. La mayor abundancia larvaria se presentó en la zona hipóxica y en la capa de mezcla, principalmente frente a Cabo Corrientes en todos los cruceros. La oxiclina y las capas hipóxica (oxiplota 1  $\text{mL L}^{-1}$ ) y anóxica (oxiplota 0.1  $\text{mL L}^{-1}$ ) fluctuaron temporalmente influenciadas por el fenómeno de “El Niño-ENSO” y “La Niña-ENSO”. En abril 2012, periodo afectado por el evento frío, la oxiclina se elevó, y en junio 2015 y marzo 2016, periodos afectados por el evento cálido, la oxiclina mostró un marcado hundimiento. La variación en la estructura de la columna de agua (profundidad de capa de mezcla y oxiclina) afectó también la distribución vertical de las larvas de *B. bathymaster*. Las mayores abundancias larvales se registraron en abril 2012, principalmente en los primeros 50 m de profundidad, coincidiendo con la oxiclina somera. Por el contrario, las menores abundancias larvarias se observaron en marzo 2016, periodo de hundimiento de la oxiclina. La presencia de diferentes estadios larvales de *B. bathymaster* en la capa oxigenada, hipóxica y anóxica puede ser producto de su adaptación fisiológica ante fuertes gradientes en la concentración de oxígeno disuelto. Es probable que las larvas experimenten cambios en el volumen y la tensión de oxígeno en la vejiga natatoria durante la migración vertical a lo largo de la columna de agua, además de posibles adaptaciones metabólicas.

## ABSTRACT

The objective of this work was to know the changes in the horizontal and vertical distribution of *Bregmaceros bathymaster* larvae in cold and warm interannual events in the Minimum Oxygen Zone north of Cabo Corrientes in the Tropical Eastern Pacific off the Mexican coast. From four oceanographic campaigns carried out on board B/O "Francisco de Ulloa" (CICESE) in February 2010 and April 2012, and on board the B/O "Alpha Helix" (CICESE) in June 2015 and March 2016, data was collected hydrographic and zooplankton samples. These last, by means of conical opening-closing networks with a mouth diameter of 60 cm and a mesh width of 505  $\mu\text{m}$ , in three strata previously defined according to the depth of the mixture layer, the oxycline and the hypoxic layer. (oxiplot 1 mL L<sup>-1</sup>). A total of 1,058 larvae / 10 m<sup>2</sup> of *Bregmaceros bathymaster* were collected in February 2010; 19,019 larvae / 10 m<sup>2</sup> in April 2012; 2,803 larvae / 10 m<sup>2</sup> in June 2015 and 1,912 larvae / 10 m<sup>2</sup> in March 2016. The larval abundance was highest in the hypoxic zone and in the mixture layer, mainly off Cabo Corrientes in all the oceanography cruises. Oxycline and the hypoxic (oxiplota 1 mL L-1) and anoxic (oxiplota 0.1 mL L-1) layers fluctuated seasonally and interannually influenced by the phenomenon of "El Niño-ENSO" and "La Niña-ENSO". In April 2012, the period affected by the cold event, oxycline rose, and in June 2015 and March 2016, periods affected by the warm event, oxycline showed a marked collapse. The vertical distribution of larvae of *B. bathymaster* was also affected by seasonality and interannual events, in association with the variation of the depth of the mixture layer and oxycline. The major larval abundances were recorded in April 2012, mainly in the first 50 m depth, coinciding with shallow oxycline. On the contrary, the lowest larval abundances were observed in March 2016, period of sinking of oxycline. The presence of different larval stages of *B. bathymaster* in the oxygenated, hypoxic and anoxic layer can be the product of their physiological adaptation before wide gradients of dissolved oxygen. Larvae are likely to experience changes in the volume and oxygen tension in the swim bladder during vertical migration along the water column, in addition to possible metabolic adaptations.