

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Maestría en Ciencias
en Acuicultura**

**Distribución, abundancia y estrategia de desarrollo larval de
polidóridos (Polychaeta: Spionidae) en Bahía San Quintín, B.C.**

Tesis
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Jeaneth Ramírez Esteban

Ensenada, Baja California, México
2020

Tesis defendida por

Jeaneth Ramírez Esteban

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Jorge Abelardo Cáceres Martínez
Director de tesis

Miembros del comité

Dra. Bertha Eugenia Lavaniegos Espejo

Dra. Carmen Guadalupe Paniagua Chávez

Dra. Rebeca Vásquez Yeomans



Dra. Fabiola Lafarga de la Cruz
Coordinadora del Posgrado en Acuicultura

Dra. Rufina Hernández Martínez
Directora de Estudios de Posgrado

Jeaneth Ramírez Esteban © 2020

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor y director de la tesis.

Resumen de la tesis que presenta **Jeaneth Ramírez Esteban** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestra en Ciencias en Acuicultura.

Distribución, abundancia y estrategia de desarrollo larval de polidóridos (Polychaeta: Spionidae) en Bahía San Quintín, B.C.

Resumen aprobado por:

Dr. Jorge Abelardo Cáceres Martínez
Director de tesis

La familia Spionidae representa uno de los grupos de poliquetos más diversos y abundantes en el mundo, dentro de esta familia se encuentra un grupo de gusanos perforadores conocidos como polidóridos que se caracterizan por poseer el quinto segmento setífero modificado y tener la capacidad de asentarse sobre organismos de conchas calcáreas perforando y formando canales donde obtienen refugio. Los hospederos se ven afectados cuando se asienta un número elevado de gusanos, ya que los canales pueden llegar a la cara interna de la concha provocando que el hospedero gaste energía en cubrir los orificios y favorecer la presencia de infecciones por microorganismos oportunistas. Adicionalmente, la concha se torna quebradiza, vulnerable a depredadores y da mal aspecto para el consumidor, lo que representa un serio problema para la ostricultura. En Bahía San Quintín, uno de los cuerpos costeros más productivos en la industria ostrícola de México, se ha documentado la presencia de este tipo de gusanos, mismos que han causado problemas de rendimiento y comercialización del producto; a pesar de esto, se desconoce su posible distribución tanto en el plancton como en el bentos, así como su estrategia de desarrollo larval. El conocimiento de estos aspectos, es fundamental para establecer medidas sanitarias que logren su posible control. En el presente trabajo se estudió la distribución de los polidóridos en plancton y bentos de 4 puntos de la bahía durante un periodo de 6 meses. Paralelamente, se realizaron observaciones sobre su desarrollo larval en el laboratorio. Los resultados mostraron su presencia en el plancton y en el bentos con un promedio de polidóridos adultos de 116 ± 133 ind/m² y 291 ± 150 larvas/m³ durante el período de estudio con una distribución relativamente homogénea en los puntos estudiados y un aumento en invierno lo que indica que hubo actividad reproductiva durante todo el periodo de estudio. A nivel de laboratorio se observó el fenómeno de poecilogonia lo que mostró que las larvas pueden alcanzar su madurez dentro del hospedero por adelfofagia. Este curioso fenómeno ayuda a explicar su escasa abundancia en el plancton y en el bentos. Por otra parte, se observaron capsulas con larvas tanto en temperaturas relativamente bajas de 16°C como a temperaturas mayores de 19 y 22 °C, lo que refuerza las observaciones sobre la presencia de larvas en el plancton durante todo el año y que su reproducción puede ocurrir en este amplio rango de temperaturas. Esta información permite sentar las bases para un manejo sanitario específico para ayudar a controlar este problema.

Palabras clave: Polidóridos, bentos, zooplancton, adelfofagia, poecilogonia.

Abstract of the thesis presented by **Jeaneth Ramírez Esteban** as a partial requirement to obtain the Master or of Science degree in Aquaculture.

Distribution, abundance and larval development strategy of the polydorids (Polychaeta: Spionidae) in Bahía San Quintín, B.C.

Abstract approved by:

Dr. Jorge Abelardo Cáceres Martínez
Thesis Director

The Spionidae family represents one of the most diverse and abundant groups of polychaetes in the world. Within this family is a group of boring worms known as polydorids characterized by having the modified fifth setiger (segment) and having the ability to settle on calcareous shell organisms, drilling and forming burrows where they obtain shelter. The hosts are affected when a high number of worms settle since the burrow can reach the inner face of the shell, causing the host to expend energy in covering the holes and favoring the occurrence of opportunistic infections by microorganisms. Additionally, the shell becomes brittle, vulnerable to predators, and looks bad for the consumer representing a serious problem for aquaculture. This type of worms has been reported in Bahía San Quintín, which is considered one of the most productive coastal bodies in Mexico for the oyster industry, causing problems in the yield and marketing of oysters. Despite this, its possible distribution in plankton and benthos, as well as its larval development strategy, in particular, is unknown. Knowledge of these aspects is essential to establish sanitary measures that achieve their possible control. In this work, polydorids distribution in plankton and benthos in 4 points of the Bay was studied for 6 months. Additionally, observations were made on their larval development at the laboratory level. The results showed that its presence in plankton and benthos is relatively scarce, with an average of adult organisms of 116 ± 133 polydorids/m² and an average of 291 ± 150 larvae/m³ during the study with a relatively homogeneous distribution in the studied points. A slight increase in winter indicates that there was a reproductive activity during the whole study period. At the laboratory level, the phenomenon of poecilogony was observed, indicating that the larvae can reach maturity within the host by adelophophagy. This curious phenomenon helps explain their low abundance in plankton and benthos. On the other hand, spawning was observed at relatively low temperatures of 16 °C and at temperatures above 19 and 22 °C, which reinforces the observations on the presence of larvae in plankton throughout the year as well as their reproduction can occur in this wide temperature range. This information allows laying the foundations for specific sanitary management to help control this problem.

Keywords: Polydorids, benthos, zooplankton, adelophophagy, poecilogony.

Dedicatoria

A mi familia.

Agradecimientos

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la beca que me permitió realizar mis estudios de posgrado.

Al centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y al departamento de Acuicultura por permitirme realizar mis estudios dentro de sus instalaciones.

Al Dr. Jorge Cáceres Martínez por aceptarme como su estudiante de maestría, por su apoyo, paciencia y conocimiento transmitido que me ha permitido crecer personal y profesionalmente.

A la Dra. Rebeca Vásquez Yeomans por su incondicional apoyo en esta investigación desde el primer momento y por siempre darme ánimo cuando estaba temerosa.

A la Dra. Bertha Lavaniegos Espejo por aceptar sin dudar ser parte de mi comité de tesis, siempre recibirme con la puerta abierta en su oficina y darme sus sabios consejos que me permitieron adentrarme en este universo del zooplancton.

A la Dra. Carmen Paniagua Chávez por aceptar ser parte de mi comité, por todo el conocimiento, experiencia y pasión transmitidos en sus clases que me han permitido apasionarme aún más por la acuicultura.

Al Dr. Benjamín Barón Sevilla por apoyarme con el préstamo de su equipo para observar y fotografiar los organismos.

Al Comité Estatal de Sanidad Acuícola e Inocuidad de Baja California por esta colaboración que permitió llevar a cabo este trabajo.

A los productores de San Quintín por apoyarnos para realizar la investigación, su gran disposición, interés y experiencia.

Al técnico Francisco Morineau Escalante por apoyarme en los muestreos realizados en este trabajo y siempre mostrar una gran disposición y actitud.

A la M. en C. Yanet Guerrero por su apoyo como técnico del Laboratorio de Biología y Patología de Organismos Acuáticos del Departamento de Acuicultura, por siempre tener la disposición de ayudar para que se pudieran llevar a cabo los muestreos y su apoyo en las cotizaciones.

A mi compañera de laboratorio Itzel Bustamante por su ayuda en los muestreos, consejos y amistad.

A mi compañera, amiga y roomie Sandra Lopez por brindarme su apoyo sin dudarlo fuera y dentro del laboratorio cuando lo requería, por su bonita amistad que me ha permitido conocerme y mejorar como persona.

A mis compañeros de maestría Jazmine, Atondo y Adriana por los momentos, risas y compañía en esta aventura.

A mis amigos Miki y Edgar por los momentos y su amistad.

Tabla de contenido

| | |
|--|-----------|
| Resumen en español..... | ii |
| Resumen en inglés..... | iii |
| Dedicatoria..... | iv |
| Agradecimientos..... | v |
| Lista de figuras..... | viii |
| Capítulo 1 Introducción | 1 |
| 1.1 La Familia Spionidae y su impacto en la acuicultura..... | 1 |
| 1.2 Descripción morfológica de los polidóridos..... | 2 |
| 1.2.1 Larvas..... | 2 |
| 1.2.2 Adultos | 3 |
| 1.3 Hábitat y ciclo de vida de los polidóridos..... | 4 |
| 1.3.1 Reproducción sexual | 5 |
| 1.3.2 Reproducción asexual | 6 |
| 1.3.3 Poecilogonia | 7 |
| 1.4 Estudios sobre el desarrollo larval y etapa bentónica de polidóridos | 8 |
| Capítulo 2. Justificación, Hipótesis, Objetivos | 11 |
| 2.1 Justificación | 11 |
| 2.2 Hipótesis..... | 11 |
| 2.3 Objetivo general..... | 11 |
| 2.3.1 Objetivos específicos..... | 12 |
| Capítulo 3. Metodología | 13 |
| 3.1 Descripción de zona y sitios de muestreo..... | 13 |
| 3.2 Recolección de muestras de bentos y zooplancton..... | 15 |
| 3.3 Análisis de bentos y zooplancton en laboratorio..... | 15 |
| 3.4.1 Desarrollo larval a diferentes temperaturas | 16 |
| 3.5 Análisis de daño en organismos expuestos a incremento de temperatura..... | 17 |
| 3.5.1 Índice de condición | 18 |
| 3.6 Análisis estadístico | 18 |

| | |
|---|----|
| Capítulo 4. Resultados | 20 |
| 4.1 Parámetros ambientales | 20 |
| 4.2 Identificación de los polidóridos | 22 |
| 4.3 Abundancia y distribución de polidóridos..... | 24 |
| 4.3.1 Abundancia y distribución en el bentos | 24 |
| 4.3.2 Abundancia y distribución de larvas de polidóridos presentes en el zooplancton..... | 25 |
| 4.4 Organismos expuestos a incremento de temperatura | 27 |
| 4.4.1 Condición inicial de los organismos | 27 |
| 4.4.2 Índice de condición y correlación con porcentaje de daño | 28 |
| 4.5 Conteo de larvas de polidóridos en fases experimentales | 28 |
| 4.6 Actividad reproductiva | 29 |
| 4.7 Desarrollo larval | 31 |
| | |
| Capítulo 5. Discusión | 34 |
| 5.1 Identificación morfológica de los espiónidos..... | 34 |
| 5.2 Distribución y abundancia de polidóridos en plancton y bentos..... | 34 |
| 5.3 Efecto de la temperatura sobre índice de condición | 36 |
| 5.4 Poecilogonia como estrategia reproductiva | 36 |
| | |
| Capítulo 6. Conclusiones | 39 |
| | |
| Capítulo 7. Recomendaciones | 40 |
| | |
| Literatura citada | 41 |

Lista de figuras

| Figura | Página |
|--|--------|
| 1 Morfología general de un polidórido en etapa larvaria; A) Larva de 3 segmentos setíferos a pocos días de ser liberada al agua; B) Larva de 7 segmentos setíferos a una semana de ser liberada al agua..... | 3 |
| 2 Morfología general de un poliqueto adulto del género <i>Polydora</i> ; A) Vista dorsal del cuerpo completo, con presencia de palpos en la parte anterior; B) vista dorsal de la parte anterior donde se encuentra el prostomio y los segmentos setíferos anteriores; C) Quinto par de setíferos modificado; D) Parte posterior o pigidio con vista dorsal. Modificado de Radashevsky <i>et al.</i> , (2006)..... | 4 |
| 3 Desarrollo de polidóridos; A) Etapa de desarrollo embrionario (24 horas.); B) liberación de larvas fuera de la cápsula de huevos; C) Etapa larvaria en la columna del agua como parte del zooplancton; D) Etapa de asentamiento y metamorfosis. Modificado de Wilson (1928)..... | 5 |
| 4 Ciclo de vida de polidóridos del género <i>Polydora</i> ; A) Espermatóforo liberado por el macho y captado por la hembra; B) Hembra protegiendo cápsulas con larvas tempranas; C) Fragmento de cápsulas con huevos unidas entre sí por un par de tallos en el interior de la madriguera; D) Larva de 3 segmentos setíferos liberada al zooplancton; E) Larva pelágica de 16 setíferos lista para el asentamiento y la metamorfosis; F) Juvenil en tubo lodoso al comienzo de la perforación y/o formación de madriguera. Modificado de Radashevsky (2006). | 6 |
| 5 Reproducción asexual en los espiónidos. A) Arquitomía B)Paratomía | 7 |
| 6 Localización de los puntos de muestreo dentro de la Bahía de San Quintín, Baja California..... | 14 |
| 7 Temperatura superficial (°C) promedio con error estándar registrada por mes y sitio durante los muestreos mensuales. Sitio 1: zona alta; Sitio 2: zona media, sitio 3: boca de la bahía y sitio 4: brazo derecho..... | 20 |
| 8 Salinidad superficial (UPS) promedio con desviación estándar por mes y sitio durante los muestreos. Punto 1: zona alta; Punto 2: zona media, Punto 3: boca de la bahía y Punto 4: brazo derecho..... | 21 |
| 9 Transparencia promedio (m) con desviación estándar por mes y sitio de muestreo. Punto 1: zona alta; Punto 2: zona media, Punto 3: boca de la bahía y Punto 4: brazo derecho..... | 22 |

| | | |
|----|--|----|
| 10 | Larvas planctónicas. A: Larva de 3 setígeros en vista dorsal. B: Larva de 5-20 setígeros con palpos en desarrollo. NO: Notopodio; MO: Manchas oculares; P: Palpos; BC: Bando corporal; SE: Setígero. Escala=100 μm | 23 |
| 11 | Especímenes adultos encontrados en el bentos. A: Vista lateral de la parte anterior de individuo adulto con presencia de palpos y quinto setígero modificado. B: Vista lateral de un polidórido adulto completo. C: Vista dorsal de parte anterior de polidórido las flechas señalan el par del quinto setígero modificado. PR: Prostomio, QS: Quinto Setígero; P: Palpos; PG: Pigidio. Escala = 500 μm | 23 |
| 12 | Abundancia promedio con desviación estándar de polidóridos/ m^2 en el bentos por mes dentro de la bahía durante agosto 2019 a enero 2020..... | 24 |
| 13 | Abundancia promedio con desviación estándar de polidóridos/ m^2 por punto muestreado dentro de la bahía durante agosto 2019 a enero 2020. Punto 1: Zona alta de la bahía; Punto 2: Zona media; Punto 3: Boca; Punto 4: Brazo derecho..... | 25 |
| 14 | Abundancia promedio con desviación estándar de larvas de polidóridos/ m^3 por mes dentro de la bahía muestreados durante agosto 2019 a enero 2020..... | 26 |
| 15 | Abundancia promedio con desviación estándar de larvas de polidóridos/ m^3 por sitio muestreado dentro de la bahía durante agosto 2019 a enero 2020 con desviación estándar. Sitio 1: zona de la bahía; Sitio 2: media; sitio 3: boca; sitio 4: brazo derecho de la bahía..... | 26 |
| 16 | Índice de condición promedio por ostión obtenido del muestreo inicial, temperatura de 16 y 19 $^{\circ}\text{C}$ | 27 |
| 17 | Numero de larvas promedio con desviación estándar por tanque encontradas a temperatura de 16 y 19 $^{\circ}\text{C}$ | 29 |
| 18 | Polidóridos extraídos de los ostiones en análisis inicial. A; vista completa del poliqueto donde se observa el pigidio y palpos. B; parte anterior ventral de un poliqueto donde se exhibe el quinto par de setígeros modificado y palpos. P: palpos; PG: pigidio; QS: Quinto par de setígeros. Escala 500= μm | 30 |
| 19 | Hembras en estado de reproducción. A: Parte anterior de hembra con huevos en el abdomen. B Acercamiento a la parte ventral de la hembra donde se muestra la presencia ovocitos en la cavidad celómica. P: palpos., QS: Quinto setígero modificado., H: Presencia de huevos. Escala = 500 μm | 30 |
| 20 | Tipos de descendencia observada. A: Cápsulas con huevos depositadas en tubo de lodo, las flechas indican la presencia de larvas rodeadas de huevos nodriza; B: Larvas adelfofágicas con un avanzado nivel de desarrollo liberadas al momento de la extracción. C: Cápsulas con huevos nodriza sin presencia de larvas. D: Larvas con diferente nivel de desarrollo liberadas | |

de un tubo de lodo con presencia de palpos y variable número de segmentos. Escala 500=μm..... 31

21 Estadios larvales de polidóridos observados en laboratorio. Donde A1-A3 son larvas extraídas del grupo control y B1-B3 corresponden al grupo expuesto al incremento de temperatura, en diferentes días después de haber iniciado el experimento. A1: Día 5-Temp 16 °C; A2: Día 25-Temp 19°C; A3: Día 43-Temp 22°C. B1: Día 15-Temp 16°C; B2: Día 30 Temp -16°C; B3: Día 43 Temp-16°C. Escala = 500μm..... 33

Capítulo 1 Introducción

1.1 La Familia Spionidae y su impacto en la acuicultura

Los moluscos forman parte importante de la producción acuícola en el mundo, observándose un incremento constante en la producción de este grupo, con más de 17 millones de toneladas en 2018 siendo representada principalmente por el grupo de los moluscos bivalvos (FAO, 2020). El cultivo en México se realiza principalmente en las costas del Golfo de California y en la costa occidental de Baja California. Las especies que se producen en mayor proporción pertenecen al género *Crassostrea*, siendo *Crassostrea gigas* y *Crassostrea corteziensis* las más cultivadas (Maeda-Martínez, 2008; Chavez-Villalva, 2014).

En Baja California, la Bahía San Quintín representa uno de los cuerpos costeros más productivos en el noroeste del país; Su desarrollo acuícola data desde 1973 cuando se introdujo el ostión japonés *C. gigas* y se comenzó su cultivo a pequeña escala. En la década de los ochenta, la producción comercial aumentó de 100 a 900 t y actualmente alcanza alrededor de 1,700 t anuales (CESAIBC, 2019 comunicación personal). En dicha Bahía se ha registrado la presencia de poliquetos de la familia Spionidae, conocidos como gusanos perforadores o gusanos de lodo, que pueden causar infestaciones importantes en los ostiones cultivados (Cáceres-Martínez *et al.*, 1998; Tinoco-Orta y Cáceres-Martínez, 2003; Díaz-D. y Liñero-Arana, 2009).

La familia Spionidae es considerada como un grupo cosmopolita contando con representantes en el norte de Europa, Australia, Japón, EUA y México, entre muchos otros países (Blake, 1996; Cáceres-Martínez, 2003; Almeda *et al.*, 2009; Walker, 2011). Dentro de esta familia existen integrantes que tienen la capacidad de perforar la concha de un gran número de moluscos bivalvos y gasterópodos de importancia económica, reportándose infestaciones en mejillones (Zottoli y Carriker, 1974), escalopas (Sato-Okoshi y Okoshi, 1993), ostiones del género *Crassostrea* (Cáceres-Martínez *et al.*, 1998), almeja mano de león (González-Ortiz, 2016), abulón rojo (Cáceres-Martínez *et al.*, 2016) entre otros.

Dentro de los géneros de poliquetos más reconocidos por su capacidad perforadora se encuentran *Polydora*, *Pseudopolydora*, y *Boccardia* los cuales forman parte de un grupo conocido como polidóridos o complejo *Polydora* (Blake, 1996a, 1971b; Walker, 2011). Los polidóridos se alojan dentro de las conchas llegando a formar un refugio en forma de canal. El canal puede alcanzar la cara interna de la concha y entrar en contacto con el cuerpo blando del hospedero, éste reacciona cubriendo el orificio con capas de conquiolina y calcita (Blake, 1996), lo cual puede llevar a la formación de una ampolla que favorece la

acumulación de materia orgánica. Esta situación tiene varias consecuencias, primero el gasto energético del hospedero para cubrir los orificios (Martin y Britayev, 1998), la posible ocurrencia de infecciones oportunistas por microorganismos tales como hongos y bacterias (Cáceres-Martínez *et al.*, 1998), la fragilidad de la concha haciendo más vulnerable al hospedero ante depredadores y el ambiente y la disminución de su valor comercial al existir rechazo por el consumidor, tanto por el mal aspecto como por el olor desagradable que emana de las ampollas cuando estas se rompen (Handley y Berguist, 1997; Sato-Okoshi *et al.*, 2013; Clements *et al.*, 2018).

1.2 Descripción morfológica de los polidóridos

1.2.1 Larvas

Las larvas de los polidóridos poseen una gran capacidad natatoria. Inicialmente tienen una coloración amarillenta con tonos cafés y verdes de apariencia transparente, lográndose observar el intestino. A lo largo del cuerpo en la parte dorsal, presentan una pigmentación negra en forma de bandas. Poseen dos o tres pares de ojos y el número de segmentos setíferos va de 3 a 20 dependiendo el nivel de desarrollo. En los segmentos se proyecta lateralmente una serie de quetas y cilios largos provisionales que les ayudan a nadar y una serie de cilios cortos se observan alrededor de la cabeza y ano (Figura 1).

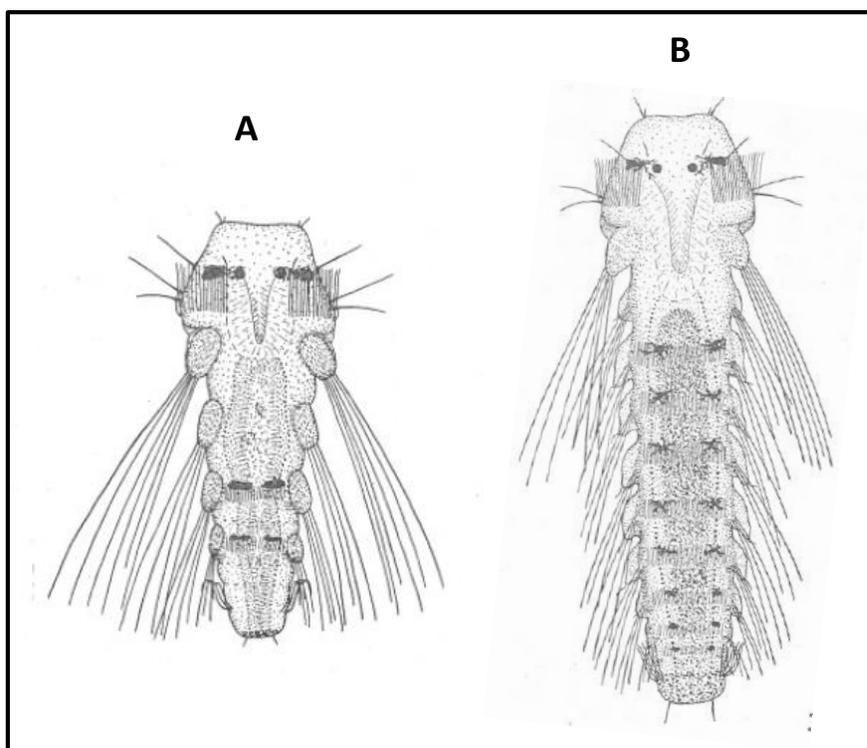


Figura 1. Morfología general de un polidórido en etapa larvaria; A) Larva de 3 segmentos setíferos a pocos días de ser liberada al agua; B) Larva de 7 segmentos setíferos a una semana de ser liberada al agua. Modificado de Wilson (1928)

1.2.2 Adultos

El cuerpo de los poliquetos adultos pertenecientes a este grupo es de forma cilíndrica alargada con segmentos de forma transversal a lo largo del cuerpo, pero no forman divisiones internas; la parte anterior o primer segmento está formada por el prostomio y peristomio, seguido de una serie de segmentos amplios cuyo número varía según la especie y el estadio en que el gusano se encuentre; Se sabe que los individuos pueden llegar a medir cerca de 40 mm de largo. La parte posterior del cuerpo donde se encuentra el ano suele ser cónica y se denomina pigidio; la forma de este puede variar de acuerdo a la especie. Los polidóridos se caracterizan por tener el quinto segmento (setífero) modificado en forma de setas o espinas quitinosas que se cree que participan durante la formación de los canales en las conchas. El gusano secreta una sustancia ácida que disuelve la concha y posteriormente, con ayuda de las espinas del quinto setífero forma la madriguera o túnel donde habitan (Blake, 1996).

En el peristomio hay presencia de un par de palpos activos en posición dorsal, los cuales poseen pigmentación variable; estos palpos son generalmente largos, con capacidades prensiles y tienen un surco

ciliado que sirve como un canal por donde las partículas de alimento son transportadas hacia la boca, pero también pueden ser usadas como material para construir los canales donde viven. El poliqueto puede presentar branquias o pueden estar ausentes. Esta característica sirve para la identificación taxonómica, al igual que la forma del pigidio (Figura 2) (Blake, 1996; Tinoco Orta, 2001; Radashevsky *et al.*, 2006).

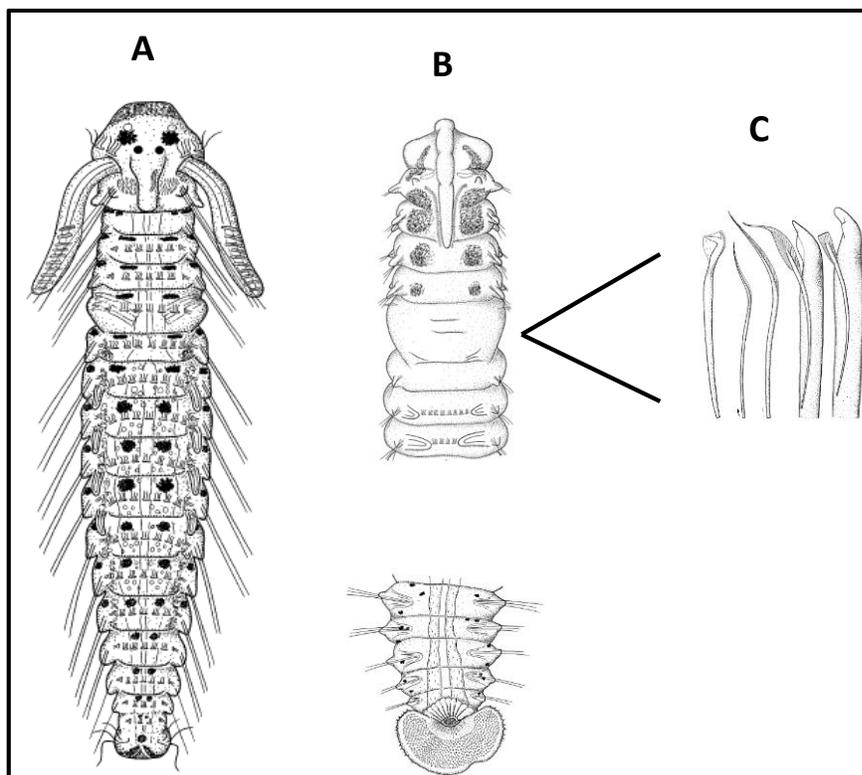


Figura 2. Morfología general de un poliqueto adulto del género *Polydora*; A) Vista dorsal del cuerpo completo, con presencia de palpos en la parte anterior; B) vista dorsal de la parte anterior donde se encuentra el prostomio y los segmentos setíferos anteriores; C) Quinto par de setíferos modificado; D) Parte posterior o pigidio con vista dorsal. Modificado de Radashevsky *et al.*, (2006)

1.3 Hábitat y ciclo de vida de los polidóridos

De manera general, los representantes de los polidóridos forman parte del zooplancton durante su desarrollo larval y de las comunidades bentónicas en la etapa adulta (González-Ortiz *et al.* 2017). Al ser un grupo ampliamente distribuido en el mundo puede habitar en esteros, lagunas costeras, zonas de intermareal y en el fondo marino a gran profundidad, posee un amplio potencial para colonizar diversos ambientes incluyendo las conchas de los moluscos, siendo capaz de ocasionar infestaciones en los cultivos, de manera intermitente (Blake, 1969; Tinoco Orta 2001; Tinoco-Orta y Cáceres-Martínez, 2003).

Cómo ya se ha mencionado, el poliqueto forma un refugio con forma de canal en las conchas, este usualmente presenta una característica forma de U, donde mantiene contacto con el exterior por medio de un tubo liso de hasta 1 cm de largo, del cual sobresalen los palpos captando partículas suspendidas a su alrededor; No obstante, estos organismos también viven tubos en la superficie bentónica (Radashevsky *et al.*, 2006).

1.3.1 Reproducción sexual

Estos gusanos perforadores pueden reproducirse de manera sexual y asexual; La sexual ocurre generalmente durante la primavera cuando las condiciones son propicias, pero el periodo reproductivo puede variar en función de la zona geográfica y la especie, ya que algunos poseen la capacidad de reproducirse más de una vez durante la estación. El macho puede liberar los espermatozoides contenidos en espermatóforos cerca de la hembra. Esta los lleva hasta los tubos donde se encuentran las cápsulas de huevos, pero también el esperma puede ser liberado cerca de la hembra y por medio de la corriente producida cuando esta respira, son guiados hacia los tubos donde se encuentran los huevos, dando lugar al inicio del desarrollo embrionario (Figura 3) (Blake 1996; Tinoco-Orta 2001).

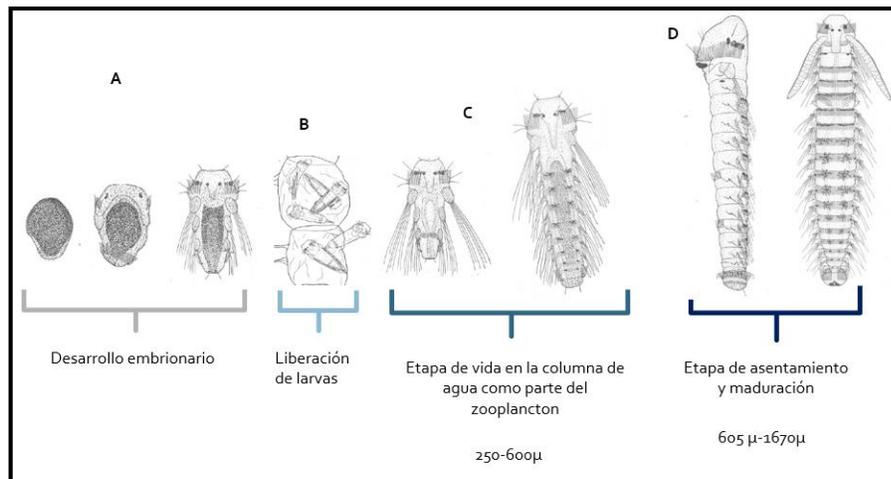


Figura 3. Desarrollo de polidóridos; A) Etapa de desarrollo embrionario (24 horas.); B) liberación de larvas fuera de la cápsula de huevos; C) Etapa larvaria en la columna del agua como parte del zooplancton; D) Etapa de asentamiento y metamorfosis. Modificado de Wilson (1928).

El número de cápsulas colocadas por la hembra dentro del refugio varía de acuerdo con la especie. Cada cápsula contiene de 10 a 60 huevos y estas permanecen unidas entre sí en forma de cadena y ancladas al refugio por medio de dos tallos delgados en cada extremo. Los huevos fertilizados generalmente se desarrollan de manera sincrónica; sin embargo, existe un porcentaje de estos que no se desarrollan exitosamente, de modo que son consumidos por las larvas hermanas en proceso de crecimiento. A estos huevos se les conoce como huevos nodriza y al comportamiento caníbal de las larvas eclosionadas se le denomina adelfofagia. Una vez que la reserva de vitelo es consumida y las larvas han desarrollado tres segmentos setíferos, rompen la cápsula liberándose del refugio hacia la columna del agua pasando a formar parte del zooplancton en dónde continúan su crecimiento alimentándose del plancton y son capaces de asentarse cuando han desarrollado de 20 a 22 setíferos comenzando una metamorfosis; a la par, los individuos van perdiendo las características larvianas de transparencia, los cilios en el pigdio y cabeza se hacen menos pronunciados y los palpos se desarrollan, estos pueden presentar un pigmentación negra y amarilla en forma de bandas (Radashevsky 2006) (Figura 3).

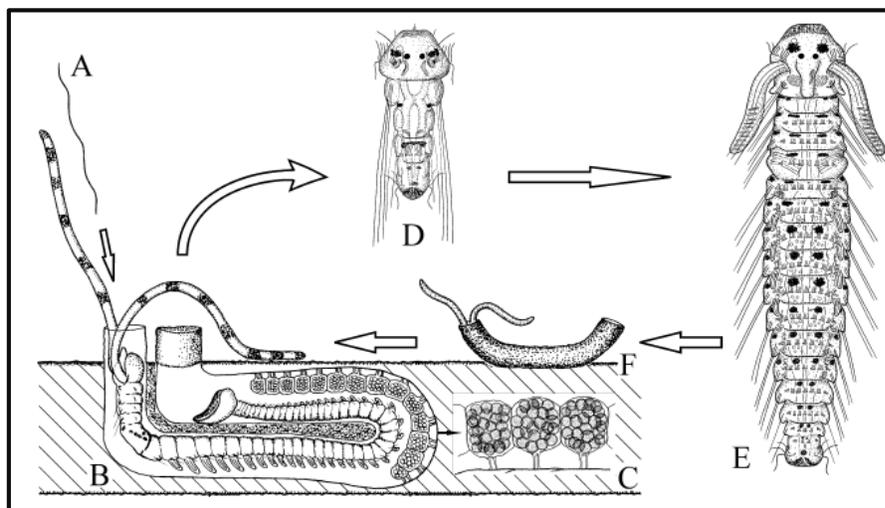


Figura 4. Ciclo de vida de polidóridos del género *Polydora* ; A) Espermátóforo liberado por el macho y captado por la hembra; B) Hembra protegiendo cápsulas con larvas tempranas; C) Fragmento de cápsulas con huevos unidas entre sí por un par de tallos en el interior de la madriguera; D) Larva de 3 segmentos setíferos liberada al zooplancton; E) Larva pelágica de 16 setíferos lista para el asentamiento y la metamorfosis; F) Juvenil en tubo lodoso al comienzo de la perforación y/o formación de madriguera. Modificado de Radashevsky (2006).

1.3.2 Reproducción asexual

La reproducción asexual en los poliquetos de la Familia Spionidae, puede ser por medio de dos mecanismos. El primero, conocido como arquitomía, se realiza por medio de la fragmentación del cuerpo

y regeneración de cada fragmento que da lugar a un nuevo individuo. En este sentido a partir del día 1 y 2 se pueden observar brotes de regeneración y a partir del día 4 o 5, la formación de los palpos, para la parte anterior. En contraste, la regeneración del pigidio ubicado en la parte posterior se puede observar a partir del día 4 o 5 (Tinoco-Orta, 2001; Radashevsky, 2006)

El segundo mecanismo de reproducción asexual es la paratomía, que consiste en la división del cuerpo para formar un nuevo individuo. La segunda mitad conocida como estolón puede permanecer adherida al cuerpo mientras esta se regenera (Blake, 1996; Tinoco Orta, 2001) (Figura 5).

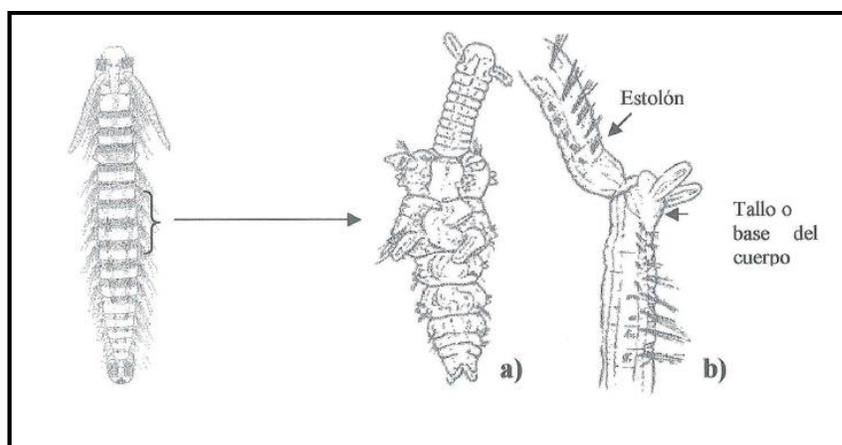


Figura 5. Reproducción asexual en los espiónidos A) Arquitomía B) Paratomía (Tinoco Orta, 2004).

1.3.3 Poecilogonia

Entre los invertebrados marinos, es común encontrar diferentes tipos de desarrollo en organismos estrechamente relacionados en cuanto a filogenia. Pero no es común que se presente más de un tipo de desarrollo en organismos pertenecientes a la misma especie; Sin embargo, este fenómeno llamado poecilogonia se ha documentado con relativa frecuencia en los espiónidos, incluyendo representantes del complejo de los polidóridos (Blake, 1996; Radashevsky *et al.*, 2006; Kesäniemi, 2012). Las especies poecilógenas son dimórficas lo que diversifica su modo de dispersión (planctónico y bentónico) y de alimentación (planctotrófica y adelfofágica).

Las especies que son conocidas como planctotróficas, dan lugar a larvas trocófora que mantendrán un periodo de vida dispersiva en el zooplancton con características morfológicas adaptativas tales como bandas ciliares en todo el cuerpo que le permitirán desarrollarse en el periodo que estas se encuentren en el agua alimentándose de los componentes presentes en el plancton para posteriormente comenzar una metamorfosis y finalmente asentarse. En contraste, las especies adelfofágicas se alimentan de los huevos no fértiles, conocidos como huevos nodrizas, o incluso de las larvas más pequeñas, de modo que estas eclosionan con un nivel avanzado de desarrollo llegando a ausentarse de la fase dispersiva o planctónica (Kesäniemi, 2012; Gibson y Gibson, 2004).

Aunque se desconoce con claridad la causa de la poecilogonia debido a que es poco estudiada, se considera un fenómeno valioso que se asocia a una respuesta adaptativa-evolutiva para resistir cambios ambientales y que está estrechamente relacionada con la plasticidad fenotípica. En *Boccardia proboscidea* un integrante del grupo de los polidóridos perforadores se ha dicho que la poecilogonia está basada en la capacidad de las hembras reproductoras de producir variaciones en la puesta de huevos nodriza y la capacidad de las larvas en consumirlos. Gibson y Gibson (2004) clasificaron a las hembras de acuerdo con su capacidad de producir huevos nodriza. La variante tipo I, se observa en las hembras que producen crías planctónicas de modo que las larvas eclosionan sicronicamente de manera temprana al desarrollar tres setígeros y se desarrollan de forma planctotrófica, antes de la metamorfosis; El tipo II es cuando las hembras producen un porcentaje bajo de huevos nodriza que son consumidos por las larvas, estas eclosionan en un nivel más desarrollado acortando su vida en el plancton; En el tipo III se encuentran larvas son adelfofágicas y eclosionan con un alto grado de desarrollo o como juveniles, pero también pueden producirse larvas no adelfofágicas dentro de la misma cápsula, estas larvas no consumen los huevos nodriza por lo que eclosionan menos desarrolladas. Se pueden presentar más de un tipo de hembra durante los eventos reproductivos de la misma población. Esta clasificación ha sido utilizada para documentar otros casos de poecilogonia en polidóridos.

1.4 Estudios sobre el desarrollo larval y etapa bentónica de polidóridos

En cuanto a los antecedentes relacionados con el desarrollo larval de polidóridos perforadores, uno de los primeros fue el realizado por Wilson (1928), quién observó el desarrollo de larvas del género *Polydora* en acuarios dentro del laboratorio; Éstas fueron obtenidas de hembras que poseían tubos con huevos listos para la eclosión y extraídas de ostras infestadas del río Yealm en Devon, Inglaterra; Gracias a sus

observaciones se pudo realizar una de las primeras descripciones del ciclo larval de *Polydora ciliata* y *Polydora hoplura*.

En 1971, Orth registró el seguimiento del desarrollo larval de *Polydora ligni* por medio de muestreos semanales de plancton realizados durante doce semanas. Observó que existía un aumento en el tamaño de las larvas durante el periodo del muestreo; Además, para el estudio en laboratorio mantuvo en observación el desarrollo larval de *P. ligni* criadas en laboratorio a 21°C, observando un desarrollo completo entre los 19 y 28 días; Mientras que, a 10°C, el desarrollo requirió un periodo de 60 a 69 días.

Radashevky y Hwey (2000) describieron cinco especies de poliquetos de las costas de Taiwán y China, discutiendo las diferencias morfológicas entre las especies. Los especímenes fueron obtenidos de muestreos bentónicos realizados previamente en ambos países.

Radashevsky *et al.*, (2006) identificaron la presencia de tres especies de *Polydora*, *P. cf. haswelli*, *P. ecuadoriana*, *P. rickettsi* y una nueva especie, en muestreos zooplanctónicos y de la extracción de individuos adultos de ostras y gasterópodos nativos de Espíritu Santo en la costa sudeste de Brasil. La identificación se basó en caracteres morfológicos con ayuda de un microscopio electrónico, lo que permitió observar a detalle estructuras clave para su identificación.

1.4.1 Estudios asociados sobre la presencia de polidóridos perforadores en México

En México, Calderón-Aguilera y Jorajuria-Cobo (1986) realizaron un muestreo del bentos de la Bahía San Quintín, Baja California durante 1981-1982 con el fin de registrar los poliquetos. Encontraron cuatro especies de la Familia Spionidae no registradas previamente: *Prionospio heterobranchia*, *Prionospio cirrifera*, *Pesudopolydora kemp* y una nueva especie no descrita.

Posteriormente en Hernández-Alcántara *et al.* (1994) realizaron un estudio sobre la composición, distribución y abundancia de los poliquetos pertenecientes a la familia Spionidae en el Golfo de California y el Golfo de Tehuantepec donde registrando la presencia de *Polydora websteri* y *Polydora cornuta*.

La presencia del género *Polydora* en Bahía San Quintín, fue documentado por primera vez por Cáceres-Martínez *et al.* (1998) dentro de los ostiones *Crassostrea gigas* en sartas de cultivo; registraron una mayor prevalencia del gusano en la parte baja de la sarta, la cual estuvo en contacto con el fondo donde hay

acumulación de materia orgánica, a diferencia de la parte media y la parte superior expuesta al aire y sol directamente. En este estudio se destacó el mal aspecto que dichas infestaciones ocasionan al producto dando problemas de comercialización.

Complementariamente, Cáceres *et al.* (1999) realizaron un estudio con la almeja *Chione fluctifraga* en condiciones de laboratorio proveniente de dos localidades: Bahía San Quintín, Baja California y Bahía de Guasimas, Sonora. Describió la infestación por *Polydora* en el área del sifón en las almejas. No obstante, actualmente se desconoce la abundancia y distribución de los polidóridos dentro de la Bahía de San Quintín y, por lo tanto, no están definidas las zonas más susceptibles a sufrir infestación, ni la abundancia de los estadios durante los diferentes meses de año; tampoco se conoce la estrategia de desarrollo larval de dichos poliquetos.

Posteriormente Gallo-García y Garcia-Ulloa (2005) registraron por primera vez la presencia de *Boccardia sp.* en cultivos de ostión *C. gigas* en la laguna de Barra de Navidad, Jalisco.

En el 2016, Cáceres y colaboradores identificaron la presencia de *Boccardia proboscidea* en abulón rojo procedente de Eréndira Baja California donde se observaron organismos con daño en las conchas ocasionando desprendimiento del cuerpo blando y la presencia de bacterias asociadas al daño.

Por su parte, Cáceres-Martínez (2001) reporta la presencia de polidóridos en la almeja catarina (*Argopecten ventricosus*) y la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*); posteriormente, Gonzales Ortiz (2016) documentó la presencia de una nueva especie del género *Polydora*, que afecta los cultivos de la almeja mano de león cultivada en la Laguna Ojo de Liebre, Guerrero Negro, en Baja California Sur.

Capítulo 2. Justificación, Hipótesis, Objetivos

2.1 Justificación

Bahía San Quintín es uno de los cuerpos costeros con mayor productividad ostrícola de México, donde la principal especie que se cultiva es el ostión del Pacífico *Crassostrea gigas*. Durante la historia de su cultivo se han presentado episodios de infestación por polidóridos pertenecientes al género *Polydora* sp. que no han sido completamente documentados y se desconoce la distribución y abundancia de sus estadios larvales. El conocimiento de estos aspectos es fundamental para determinar el comportamiento de posibles infestaciones en los cultivos y, en su caso, sugerir posibles medidas de control. Adicionalmente es necesario esclarecer la estrategia de desarrollo larval de la especie y el efecto que pueda tener el daño de la concha en el índice de condición el cual permite evaluar la condición fisiológica de los ostiones, todo esto con la finalidad de complementar la información necesaria para establecer las posibles medidas de control.

2.2 Hipótesis

- La distribución y abundancia de los estadios de los polidóridos en el zooplancton y bentos varían en función del tiempo (mes del año) y de la zona de la Bahía.
- La estrategia de desarrollo larval de los polidóridos perforadores es la poecilogonia.
- La presencia de polidóridos produce un daño en la concha que afecta al índice de condición del hospedero.

2.3 Objetivo general

- Determinar la distribución y abundancia de los estadios de los polidóridos dentro de Bahía San Quintín, su estrategia de desarrollo larval y daños asociados en la concha y su efecto en el índice de condición.

2.3.1 Objetivos específicos

- Determinar la distribución y abundancia de los estadios de vida de los polidóridos en el plancton y bentos en 4 puntos de la Bahía de San Quintín.
- Determinar la estrategia de desarrollo larval de los polidóridos mediante observaciones de campo y de laboratorio.
- Determinar el posible daño en la concha y asociarlo con el índice de condición del hospedero.

Capítulo 3. Metodología

3.1 Descripción de zona y sitios de muestreo

Bahía San Quintín se localiza en la costa del Pacífico de Baja California, entre los 30°24' y los 30° 30' de latitud N y los 115° 57' a 116° 01' de longitud W (Figura 5). Posee una superficie aproximada a los 42 km y se comunica con el mar a través de una boca. Se divide en dos brazos con profundidades que van desde los 5 a los 15 m. Uno de los brazos denominado Bahía San Quintín, tiene una orientación hacia el este con una longitud cerca de los 11 km, y el segundo brazo conocido como Bahía Falsa, posee una orientación hacia el oeste con una longitud de 7 km (Chávez de Nishikawa y Álvarez-Borrego, 1976).

La Bahía está considerada como una laguna costera caracterizada por poseer aguas ricas en nutrientes lo cual es adjudicado a procesos de surgencia dados por el océano que se encuentra de forma adyacente, así como a las corrientes provocadas por los cambios en la marea introduciendo agua al interior de la Bahía (Osorno-Velázquez, 2000 y es considerado uno de los cuerpos más productivos del país (García-Esquivel, 2004).

Para el presente estudio, se seleccionaron cuatro sitios de muestreo de acuerdo con la distribución de las granjas de cultivo de ostión en las diferentes zonas de la Bahía y en conjunto con los productores y el Comité Estatal de Sanidad Acuícola e Inocuidad de Baja California (CESAIBC). Se realizaron muestreos mensuales de agosto de 2019 a enero de 2020. Los puntos de muestreo corresponden a la parte alta (30°26'26.0" N 116°00'22.0" W), la parte media (30°25'26.7" N 115°59'47.0" W), la boca (30°23'38.6" N 115°59'34.8 "W), y el brazo derecho (30°26'20.0"N 115°57'22.0"W) de la Bahía. En cada punto seleccionado, se tomó una muestra de zooplancton y bentos, para determinar la abundancia y distribución de estadios larvales de polidóridos (Figura 5).

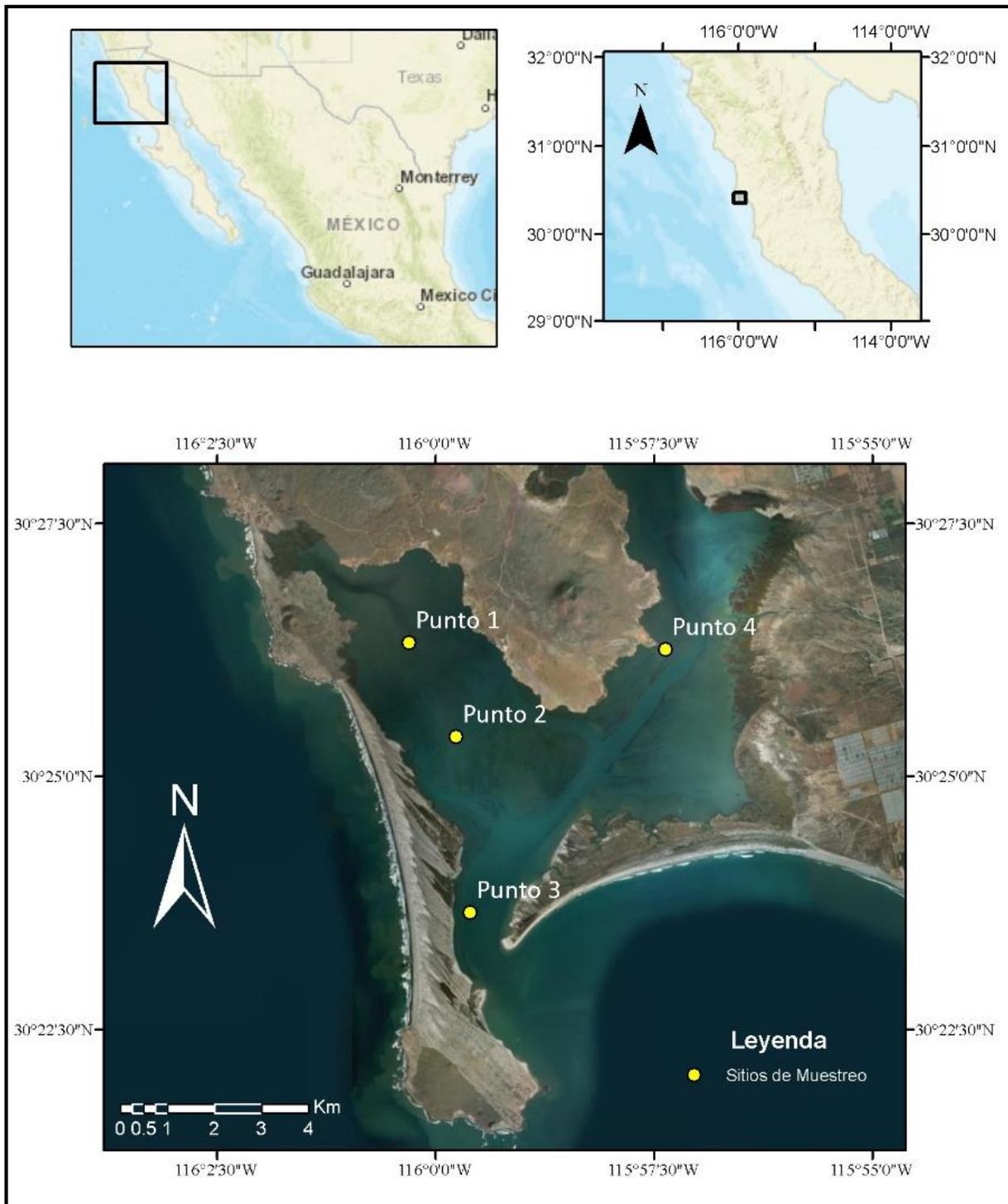


Figura 6. Localización de los puntos de muestreo dentro de la Bahía de San Quintín, Baja California.

3.2 Recolección de muestras de bentos y zooplancton

El muestreo se realizó mensualmente en marea alta, confirmándolo por medio del calendario de predicción de mareas generado por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). En cada punto de muestreo se tomó una muestra de sedimento usando una draga tipo Petit ponar (Wildco) con una capacidad de 0.0225m², siguiendo la metodología descrita por Gaviño *et al.* (1999). Cada muestra se tamizó a una luz de malla de 500 µm con la finalidad de eliminar el exceso de agua para posteriormente colocarla en un frasco de plástico con capacidad de 2000 ml y se le agregó una solución de sulfato de magnesio al 5% con el fin de anestesiar a los posibles poliquetos presentes en la muestra relajando los apéndices y estructuras claves para la identificación taxonómica; se dejó actuar la solución durante 30 minutos aproximadamente para finalmente agregar una solución fijadora a base de formaldehído al 10% y ser transportadas al Laboratorio de Biología y Patología de Organismos Acuáticos del CICESE, donde fueron analizadas.

La muestra de zooplancton se recolectó usando una bomba de succión sumergible con una capacidad de bombeo de 4163 lt/h la cual estaba conectada a una manguera de 1.5 m; la bomba fue sumergida y durante 3 minutos se bombeo agua y se hizo pasar por un complejo de tamices de 500, 250 y 180 µm, medidas dentro de las cuales se sabe se encuentran las larvas de los polidóridos durante su estadio planctónico. Se bombeo un volumen total de 150 L por sitio. Los organismos retenidos en cada tamiz se guardaron en frascos de plástico de boca ancha con una capacidad de 500 ml. Finalmente, las muestras fueron preservadas con una solución de formaldehído al 5% para ser transportadas al laboratorio. Simultáneamente a la toma de las muestras se registró en cada uno de los puntos la temperatura superficial con un termómetro de mercurio, salinidad con un refractómetro (Vista A366ATC) y turbidez midiendo el nivel de transparencia del agua con un disco se Secchi de modo que a mayor transparencia había menor turbidez en el agua en cada uno de los puntos de estudio.

3.3 Análisis de bentos y zooplancton en laboratorio.

En el laboratorio, las muestras de bentos fueron tamizadas nuevamente a una luz de malla de 1000, 500 y 300 µm recuperando los poliquetos presentes en estas. Se preservaron en alcohol al 70% para su análisis.

Para el conteo e identificación de los polidóridos adultos, se colocaron en cajas Petri para ser analizadas con un microscopio estereoscopio (Zeiss Stemi 2000). Su identificación se basó principalmente en las ilustraciones de Wilson (1928) y Blake (1969). Los organismos cuantificados fueron preservados en frascos de vidrio en alcohol al 70%.

Para el zooplancton las muestras fueron enjuagadas en agua destilada para su manejo. Se revisó la muestra completa utilizando una placa (Bogorov) y las muestras fueron visualizadas en un microscopio estereoscopio (Zeiss Stemi 2000). La identificación se realizó mediante las ilustraciones y claves de los autores anteriormente mencionados.

3.4 Observación experimental del desarrollo larval de polidóridos

Se utilizaron 210 ejemplares de ostión *C. gigas* provenientes de una zona de la bahía dónde previamente se encontró infestación por polidóridos. Estos ejemplares fueron proporcionados por las empresas cultivadoras Sesma Escalante, S.P.R de R.L y Litoral de Baja California S. P. R de R. L ubicadas en San Quintín. Los ostiones fueron trasladados en hieleras al laboratorio para posteriormente ser expuestos a incremento de temperatura que pudiera favorecer el desarrollo de los poliquetos. Previamente se tomó una muestra de 30 organismos del lote inicial para determinar el grado de infestación antes de ser distribuidos en los tanques donde se realizaron los experimentos. Las temperaturas se eligieron tomado como referencia el rango de variación estacional de la Bahía de San Quintín. Adicionalmente, se hicieron observaciones sobre el daño de la concha ocasionado por los canales y ampollas asociadas a los poliquetos que se relacionaron con el índice de condición y así obtener información complementaria sobre el efecto de estos gusanos en su hospedero.

3.4.1 Desarrollo larval a diferentes temperaturas

El estudio sobre el desarrollo larval a diferentes temperaturas originalmente se dividió en tres fases, la primera, de aclimatación a 16°C durante quince días; en la siguiente fase, se incrementó gradualmente a 19°C y los organismos se mantuvieron en esa condición durante quince días. La última fase los organismos de mantuvieron a 22°C durante cuatro días. Esta última se vio interrumpida por la contingencia por COVID-

19, por lo que no fue considerada para las pruebas estadísticas; Sin embargo, las larvas obtenidas en esta fase se usaron para la descripción morfológica.

El estudio se realizó por triplicado en tanques de 75 L de capacidad donde se colocaron 60 litros de agua y 30 organismos por tanque. En total fueron seis tanques, tres correspondientes al grupo control, mantenidos a 16 °C durante todo el experimento y tres pertenecían al tratamiento de incremento de temperatura. Al final de cada una de las fases se tomaron 10 ostiones por tanque para realizar las observaciones correspondientes. Los tanques fueron asignados de manera aleatoria. Los organismos fueron mantenidos con aireación constante y fueron alimentados con pasta de microalgas (Shellfish Diet 1800) utilizando la ración por organismo recomendada por el fabricante. La temperatura se mantuvo controlada usando calentadores sumergibles (Tetra Whisper). La temperatura del agua fue monitoreada diariamente al igual que la salinidad, oxígeno disuelto y pH usando un multiparametro (YSI pro-2030). Un recambio de agua total fue realizado cada 4 o 5 días, la cual se filtraba con una luz de malla de 150 µm para recuperar las larvas presentes; las muestras obtenidas de este proceso fueron conservadas en alcohol al 70% para posteriormente observarlas con un estereoscopio Olympus SZ61 y ser fotografiadas con una cámara digital (Infinity 1) para su descripción morfológica posterior.

3.5 Análisis de daño en organismos expuestos a incremento de temperatura

Los ostiones recuperados de los tanques, se midieron, pesaron y diseccionaron con la finalidad de obtener el índice de condición por el método peso seco que se describe más adelante; Se cuantificó el número de canales y ampollas para extraer los poliquetos que se encontraban dentro de estas con la finalidad de determinar los estadios de desarrollo de poliquetos. Tanto larvas, cápsulas y adultos, se preservaron en una solución de alcohol al 70% hasta su posterior análisis fotográfico. Por otra parte, la concha de los ostiones una vez diseccionados también fueron fotografiadas para calcular el área dañada en la concha por las ampollas utilizando para este propósito un procesador de imágenes, el software ImageJ con el fin de relacionar la superficie dañada y el índice de condición. Para el cálculo del promedio de superficie de daño por ostión se tomaron en cuenta aquellos organismos que presentaban daño en una o ambas valvas para posteriormente asociarlo con el índice de condición de los organismos.

3.5.1 Índice de condición

Para calcular el índice de condición se usó la fórmula propuesta por Hickman e Illingworth (1980). Se registró la longitud y peso total de cada ostión antes de ser diseccionado. Posteriormente se diseccionaron y se tomó el peso de la concha y el tejido blando fresco. Este último fue colocado en navcillas de aluminio previamente pesadas con una balanza analítica (And) y luego se introdujeron en un horno (Precision Scientific Co, modelo 4) para su deshidratación a una temperatura de 75°C; Se registró el peso del tejido todos los días hasta obtener un peso constante correspondiendo al peso seco.

La fórmula para obtener el índice de condición es la siguiente:

(Hickman e Illingworth, 1980)

$$IC = \frac{PS}{PCO - PC} (100)$$

Dónde

IC= Índice de condición

PS= Peso seco del tejido

PCO= Peso completo del organismo

PC= Peso de la concha

3.6 Análisis estadístico

Para determinar si había diferencias en la temperatura, salinidad y turbidez del agua entre los meses y puntos de muestreo se realizó una prueba estadística por medio de una ANOVA de dos vías para cada parametro donde se consideró la temperatura, salinidad y turbidez como variable de respuesta y los factores independientes fueron el mes y el punto de muestreo. En cuanto a la distribución y abundancia de polidóridos, también se realizó una comparación estadística por medio de una prueba paramétrica

ANOVA de dos vías. Se verificaron los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad (Leven's) en los datos sometidos al análisis. En el caso de las larvas encontradas en el zooplancton y adultos en bentos cuando los datos no cumplieron el supuesto de normalidad se realizó la transformación de los datos a raíz cuadrada la cual es recomendada por McDonald (2014) para datos obtenidos en conteos. Las variables independientes fueron el punto de muestreo y el mes y la variable de respuesta el número de organismos encontrados en el agua y en el bentos. Para comparar el número de canales, número de poliquetos, número de ampollas e índice de condición se tomaron en cuenta los datos obtenidos de la fase dos, donde fueron aplicadas diferentes temperaturas. Se usó una prueba de T- Student para comparar si había diferencias entre la temperatura de 16 y 19°C en cuanto a los rasgos mencionados; cuando los datos no cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad se usó una prueba de Man Whitney, equivalente para comparación de dos grupos independientes. En el caso del índice de condición se usó una transformación previa de los datos a raíz cuadrada de arcoseno. En cuanto a el análisis de correlación entre el índice de condición y el porcentaje de daño del análisis inicial, así como de la fase uno y dos, se usó una correlación lineal para obtener el coeficiente de correlación (R^2). Para estimar si había diferencias entre el número de larvas promedio encontrado durante la fase dos del experimento se realizó una prueba de T- Student .

Capítulo 4. Resultados

4.1 Parámetros ambientales

La temperatura superficial promedio del agua registrada durante los seis meses de muestreo dentro de la bahía fue de 18.7 ± 0.528 °C, las temperaturas más bajas se registraron durante enero de 2020 con un promedio de 15.12 ± 0.629 °C y las más altas en septiembre de 2019 (21.37 ± 2.32 °C). Se encontraron diferencias significativas ($P = 0.001$) entre la temperatura mensual donde diciembre y enero fueron diferentes del resto de los meses con excepción de octubre el cual no fue diferente a diciembre. En la temperatura por sitio también se presentaron diferencias ($P = 0.002$) el sitio con la temperatura más alta fue el cuatro 19.41 ± 2.81 , el cual corresponde a la zona de brazo derecho. En contraste, las temperaturas más bajas se registraron en el sitio tres 16.50 ± 1.41 correspondiente a la boca de la bahía el cual fue diferente al sitio uno y cuatro (Figura 7).

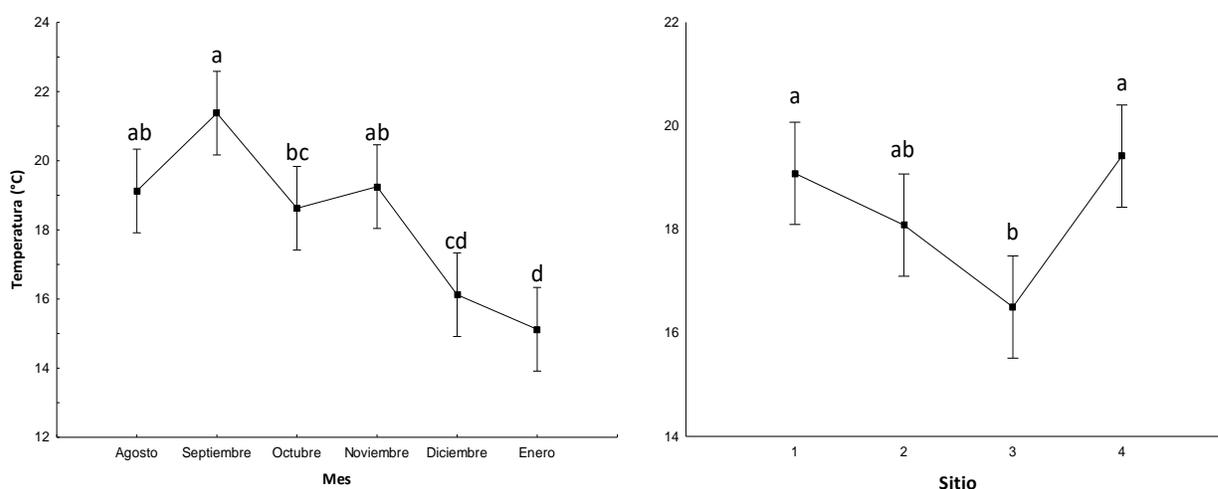


Figura 7. Temperatura superficial (°C) promedio con error estándar registrada por mes y sitio durante los muestreos mensuales. Sitio 1: zona alta; Sitio 2: zona media, sitio 3: boca de la bahía y sitio 4: brazo derecho.

La salinidad superficial promedio registrada durante los meses de estudio dentro de la bahía fue de 35 ± 0.78 UPS con un valor máximo registrado fue de 37 UPS y el mínimo de 34UPS. El promedio más bajo se presentó en el mes de septiembre (34.75 ± 0.25 UPS) y el más alto durante el mes de diciembre (36 UPS). No hubo diferencias estadísticamente significativas respecto a la temporalidad ($P = 0.066$ entre los meses). En cuanto a los sitios de muestreo, en el sitio 3, se registró el promedio más bajo de salinidad superficial,

(35 ± 0.25 UPS) correspondiente a la zona de la boca; en contraste, el más alto fue obtenido en la zona 1 (36 ± 0.36 UPS). Sin embargo, estas diferencias entre la salinidad de los sitios de muestreo no fueron estadísticamente significativas ($P = 0.67$) (Figura 8).

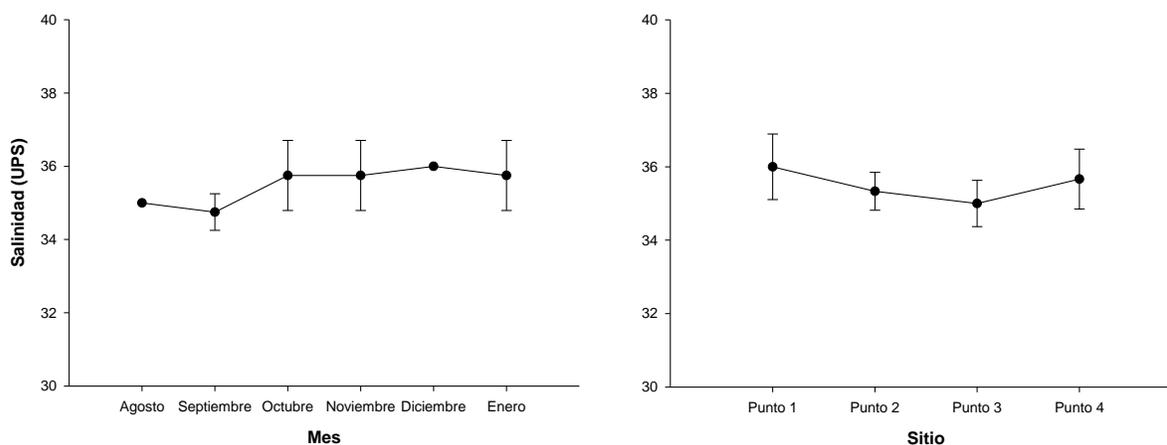


Figura 8. Salinidad superficial (UPS) promedio con desviación estándar por mes y sitio durante los muestreos. Punto 1: zona alta; Punto 2: zona media, Punto 3: boca de la bahía y Punto 4: brazo derecho.

Respecto a la transparencia del agua el promedio de esta fue de 2 ± 0.13 m. El mes que mostró mayor transparencia y por lo tanto menor turbidez fue octubre (2.6 ± 1.02 m) en contraste en enero se observó mayor turbidez en el agua con una transparencia de 1.5 ± 0.5 m. En cuanto a los sitios el punto uno y tres mostraron menor turbidez con 2.32 ± 0.2 y 2.33 ± 1.22 m de transparencia respectivamente, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre el promedio de transparencia de los meses ($P = 0.063$) y los sitios ($P = 0.175$) (Figura 9).

En cuanto a las características del sedimento el punto 1,2 y 4 mostraron una apariencia que iba de arena fina a arcilla donde incluso hubo presencia de pastos marinos, en contraste el punto 3 se observó un sedimento conformado de arena fina y arena gruesa.

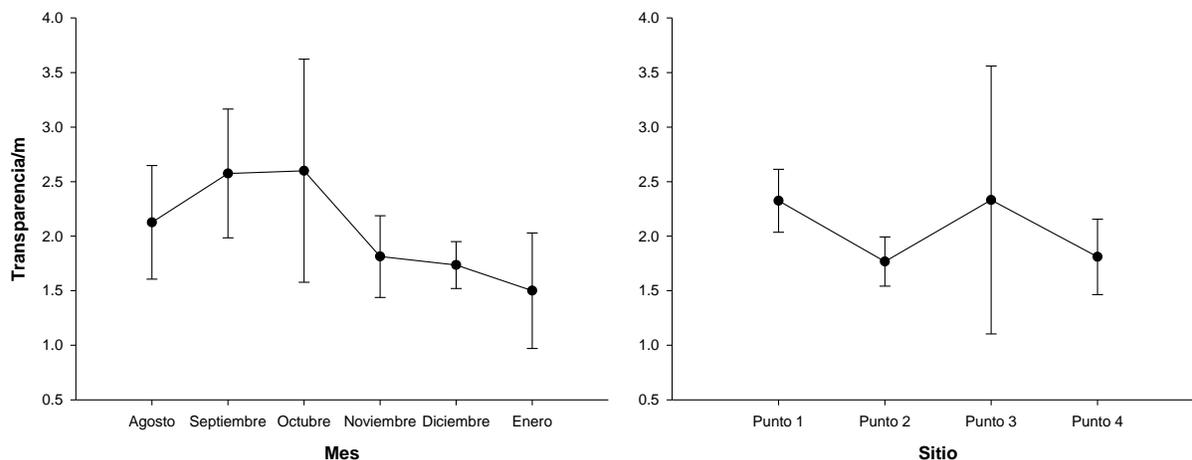


Figura 9. Transparencia promedio (m) con desviación estándar por mes y sitio de muestreo. Punto 1: zona alta; Punto 2: zona media, Punto 3: boca de la bahía y Punto 4: brazo derecho.

4.2 Identificación de los polidóridos

Las larvas obtenidas del muestreo del plancton mostraron manchas oculares marcadas y bandas ciliares laterales, también mostraron coloración negra en forma de bandas a lo largo del cuerpo, así como presencia de palpos en diferente nivel de desarrollo. En cuanto a los segmentos, las larvas encontradas en el agua exhibían de 3 a 20 con un nivel más avanzado en algunas de ellas que tenían bandas transversales oscuras en la parte dorsal del cuerpo. (Figura 10).

En los especímenes adultos obtenidos del bentos, se pudo diferenciar el pigidio, palpos, prostomio y el quinto setígero modificado, estas características siempre estuvieron presentes en los organismos considerados en los conteos (Figura 11).

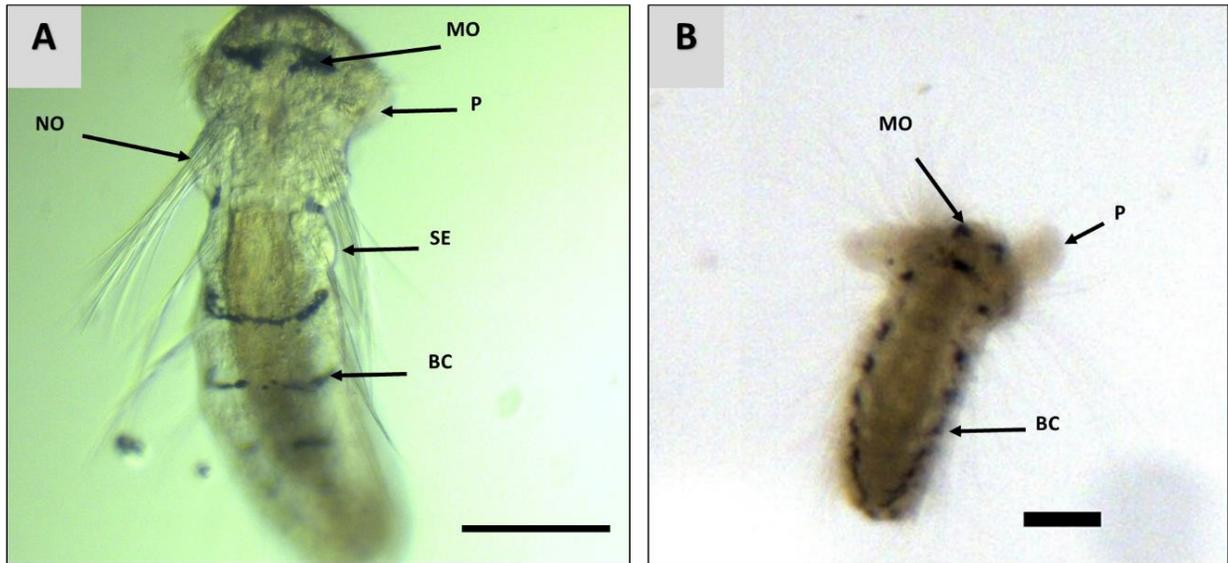


Figura 10. Larvas planctónicas. A: Larva de 3 setígeros en vista dorsal. B: Larva de 5-20 setígeros con palpos en desarrollo. NO: Notopodio; MO: Manchas oculares; P: Palpos; BC: Bandeo corporal; SE: Setígero. Escala=100 μ m.



Figura 11. Especímenes adultos encontrados en el bentos. A: Vista lateral de la parte anterior de individuo adulto con presencia de palpos y quinto setígero modificado. B: Vista lateral de un polidórido adulto completo. C: Vista dorsal de parte anterior de polidórido las flechas señalan el par del quinto setígero modificado. PR: Prostomio, QS: Quinto Setígero; P: Palpos; PG: Pigidio. Escala = 500 μ m.

4.3 Abundancia y distribución de polidóridos

4.3.1 Abundancia y distribución en el bentos

Durante el tiempo de estudio (agosto 2019 a enero de 2020) la abundancia promedio de adultos encontrados en la bahía fue de 116 ± 133 ind/m². En noviembre se encontró la mayor abundancia promedio con 210 ± 227 ind/m² y la menor en septiembre con 44 ± 88 ind/m². Sin embargo, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($P = 0.597$) en la abundancia entre los meses (Figura 12). En cuanto a los cuatro sitios muestreados, el sitio uno, correspondiente a la zona alta de la bahía, mostró la abundancia promedio más alta de adultos (185 ± 110 ind/m²) y el sitio tres correspondiente a la zona de la boca de la bahía, mostró la menor abundancia con 29 ± 72 ind/m² (Figura 12). Igualmente, que, en el caso de la temporalidad, las diferencias observadas no fueron estadísticamente significativas entre los puntos de muestreo ($P = 0.242$). Por lo que, bajo este análisis, los individuos adultos se encontraron distribuidos de manera homogénea en la bahía a lo largo de los meses muestreados (Figura 13).

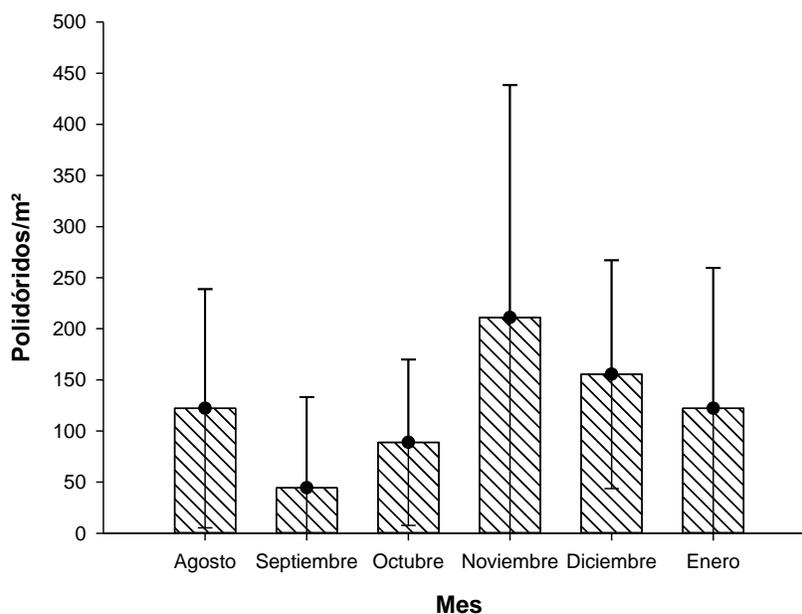


Figura 12. Abundancia promedio con desviación estándar de polidóridos/m² en el bentos por mes dentro de la bahía durante agosto 2019 a enero 2020.

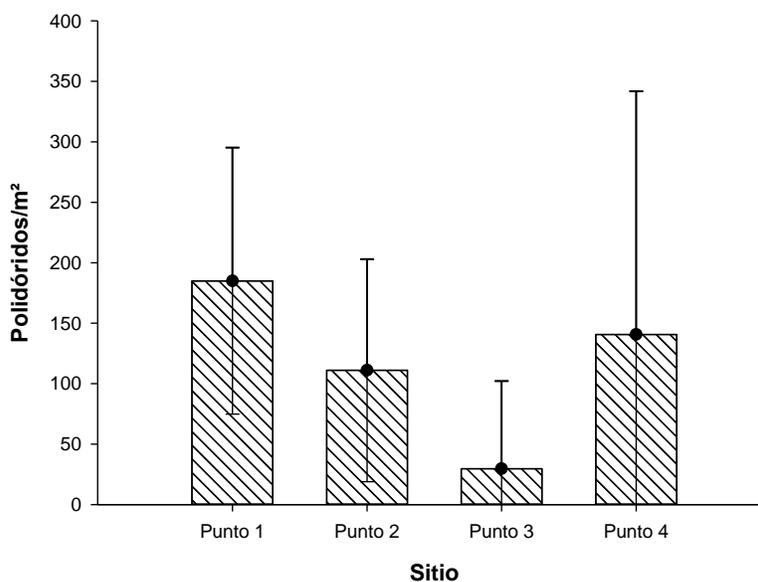


Figura 13. Abundancia promedio con desviación estándar de polidóridos/m² por punto muestreado dentro de la bahía durante agosto 2019 a enero 2020. Punto 1: Zona alta de la bahía; Punto 2: Zona media; Punto 3: Boca; Punto 4: Brazo derecho.

4.3.2 Abundancia y distribución de larvas de polidóridos presentes en el zooplancton.

La abundancia promedio de larvas de polidóridos encontradas en el plancton dentro de la bahía fue 121 ± 168 larvas/m³. Los meses con mayor abundancia fueron diciembre (291 ± 150 larvas/m³) y enero (274 ± 281 larvas/m³). En contraste, el mes de agosto mostró la menor abundancia (17 ± 33 larvas/m³). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P = 0.014$) entre los meses respecto la abundancia de las larvas, donde diciembre fue diferente a agosto, septiembre y octubre (Figura 14). En cuanto a la abundancia promedio de larvas por punto muestreado, no hubo diferencias estadísticamente significativas ($P = 0.691$) entre el promedio de los puntos muestreados a lo largo del estudio (Figura 15).

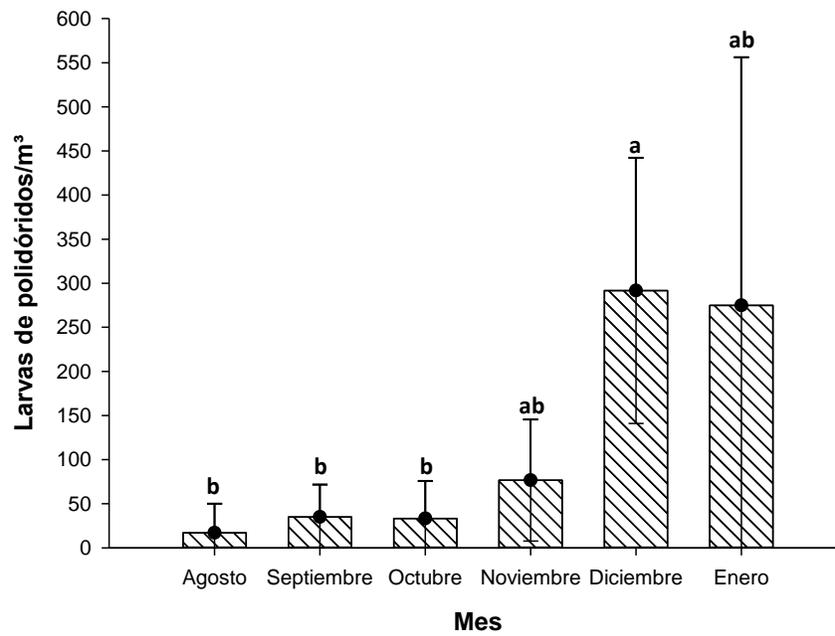


Figura 14. Abundancia promedio con desviación estándar de larvas de polidóridos/m³ por mes dentro de la bahía muestreados durante agosto 2019 a enero 2020.

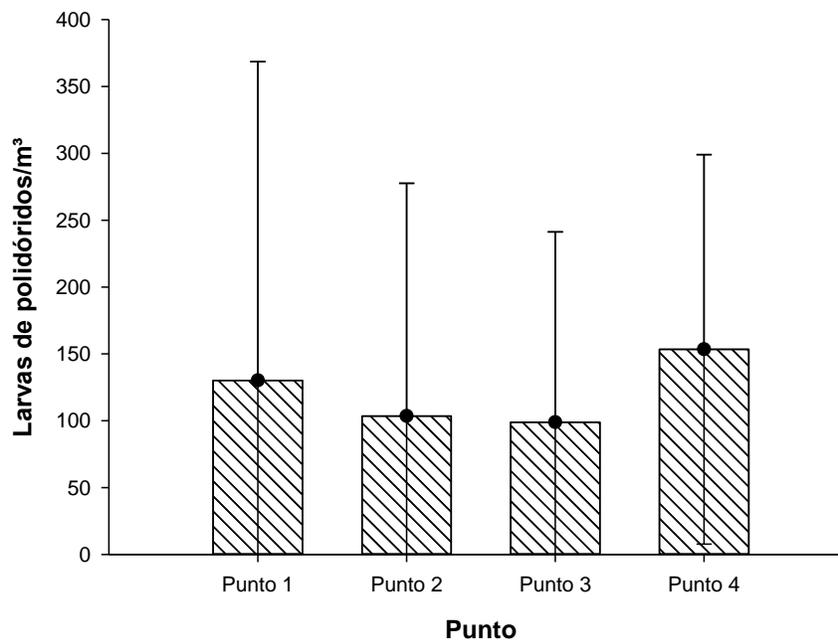


Figura 15. Abundancia promedio con desviación estándar de larvas de polidóridos/m³ por sitio muestreado dentro de la bahía durante agosto 2019 a enero 2020 con desviación estándar. Sitio 1: zona de la bahía; Sitio 2: media; sitio 3: boca; sitio 4: brazo derecho de la bahía.

4.4 Organismos expuestos a incremento de temperatura

4.4.1 Condición inicial de los organismos

El promedio de ampollas por ostión encontrado en los organismos analizados al inicio del experimento fue de 1 ± 1.38 , 0.70 ± 0.83 de canales, 0.86 ± 0.86 poliquetos por ostión e índice de condición de 11.465 ± 4.78 . En cuanto al promedio por ostión de la temperatura 16 y 19 °C de la fase dos no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P = 0.228$) respecto el promedio de ampollas por ostión, en cuanto a los canales hubo una ligera diferencia ($P = 0.0423$), no hubo diferencia entre en número de poliquetos ($P = 0.057$) ni en el índice de condición ($P = 0.800$) entre ambas temperaturas. No obstante, se encontró una disminución de 5 unidades en el índice de condición de la temperatura de 16 y 19 °C respecto el índice de condición inicial (Figura 16).

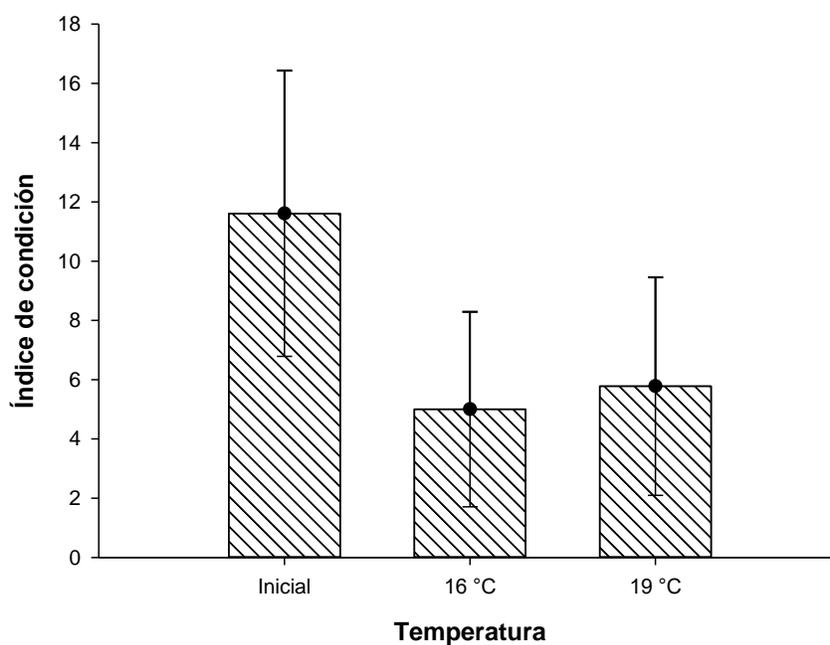


Figura 16. Índice de condición promedio con desviación estándar por ostión obtenido del muestreo inicial, temperatura de 16 y 19 °C.

4.4.2 Índice de condición y correlación con porcentaje de daño

En cuanto los organismos analizados al inicio del experimento, el porcentaje promedio de la superficie dañada fue de 6.76 ± 5.60 con un índice de condición de 11.61 ± 4.82 obteniéndose un coeficiente de correlación (R^2) de 0.206 entre la superficie dañada y el Índice de condición, en la temperatura de 16°C el porcentaje de daño obtenido fue 7.840 ± 7.44 y un índice de condición de 5.77 ± 3.67 con un R^2 de 0.002 y para la temperatura de 19°C se obtuvo un porcentaje de daño promedio de 5.64 ± 5.06 con un índice de condición de 5 ± 3.29 con un R^2 de 0.04 por lo que bajo este análisis no se encontró correlación entre el índice de condición y la superficie dañada en los ostiones.

4.5 conteo de larvas de polidóridos en fases experimentales

El promedio del número de larvas por tanque encontradas durante la fase de aclimatación (Fase 1) fue de 8.9 ± 15.5 para el grupo del tratamiento y 7.9 ± 9.5 para el grupo control. En la fase dos se encontró un promedio de 8.9 ± 13.1 para la temperatura de 16°C y 5.7 ± 6.8 para 19°C . No obstante, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P = 0.301$) entre el promedio del número de larvas por tanque para ambas temperaturas (Figura 17).

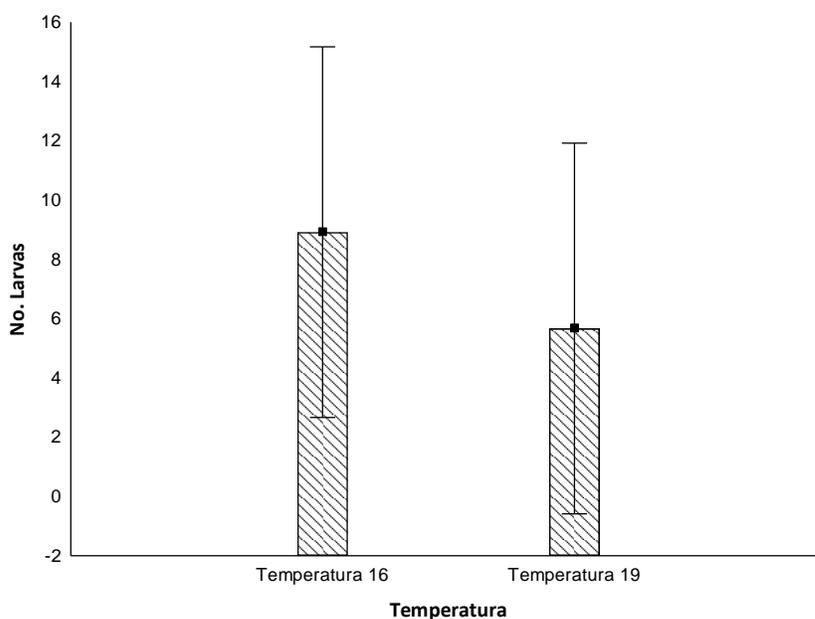


Figura 17. Numero de larvas promedio con desviación estándar por tanque encontradas a temperatura de 16 y 19°C .

4.6 Actividad reproductiva

Como se mencionó anteriormente, en algunos casos, los ostiones diseccionados previamente al inicio del bioensayo, presentaron ampollas y canales. Los poliquetos que se extrajeron mostraron las principales características de los organismos pertenecientes al complejo *Polydora*, tales como el quinto setígero modificado, pigidio, palpos y prostomio. No obstante, no se encontraron puestas de cápsulas o larvas liberadas al momento de la extracción de los poliquetos, dentro de estos ostiones, cabe mencionar que las ampollas en general estaban recubiertas por conquiolina y calcita, mostrando una consistencia dura, dificultando la extracción de los posibles gusanos, huevos y larvas en la mayoría de los casos (Figura 18).

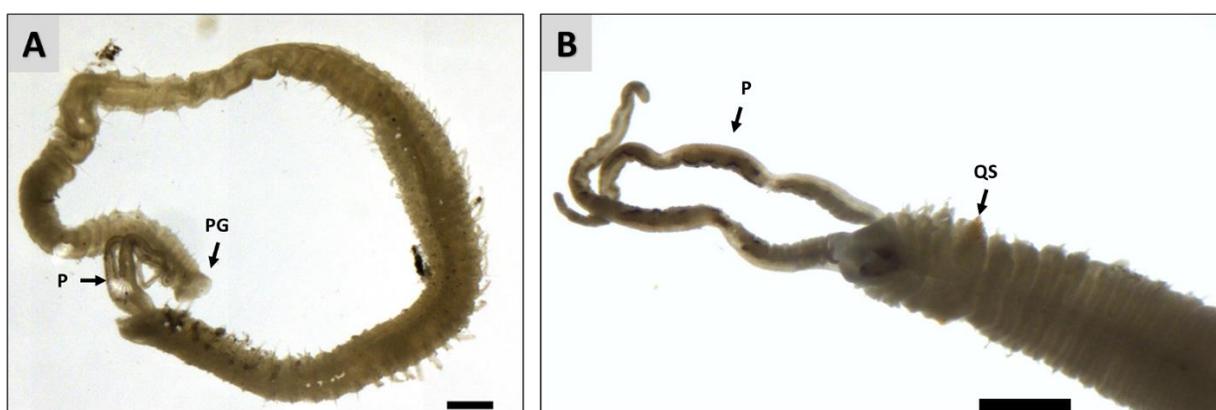


Figura 18. Polidóridos extraídos de los ostiones en análisis inicial. A; vista completa del poliqueto donde se observa el pigidio y palpos. B; parte anterior ventral de un poliqueto donde se exhibe el quinto par de setígeros modificado y palpos. P: palpos; PG: pigidio; QS: Quinto par de setígeros. Escala 500=μm.

Al finalizar la primera y segunda etapa del experimento se observaron hembras con actividad reproductiva. Las hembras extraídas mostraban una fuerte coloración amarillenta y al ser observadas con el microscopio estereoscópico se lograba observar la presencia de ovocitos en el abdomen, listos para ser expulsados y colocados en cápsulas (Figura 19).

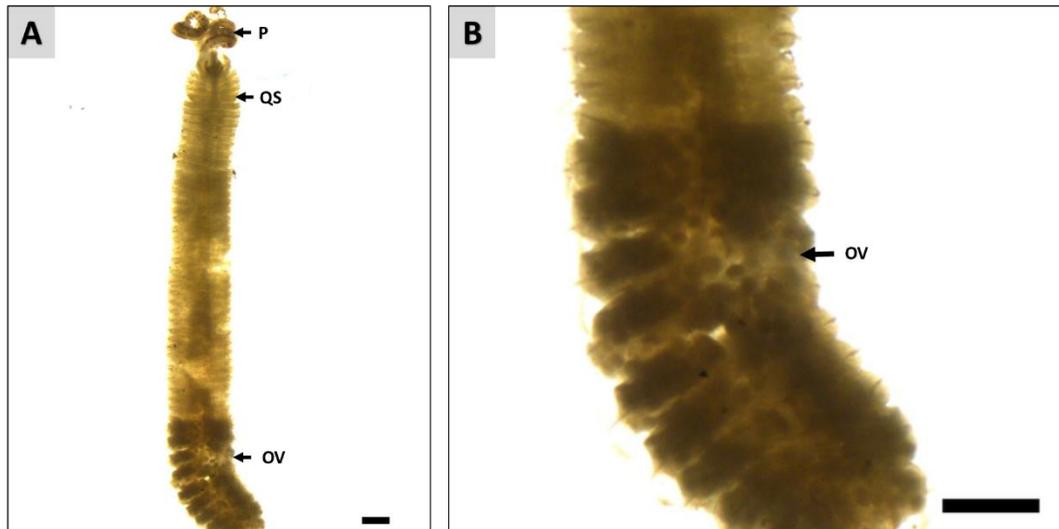


Figura 19. Hembras en estado de reproducción. A: Parte anterior de hembra con huevos en el abdomen. B: Acercamiento a la parte ventral de la hembra donde se muestra la presencia ovocitos en la cavidad celómica. P: palpos., QS: Quinto setígero modificado., H: Presencia de huevos. Escala = 500 μ m.

Asimismo, en ambas etapas y bajo las dos temperaturas experimentales aplicadas se observaron puestas de cápsulas con huevos dentro de los tubos. Algunas capsulas contenían larvas en compañía de huevos nodriza (Larvas tipo II), larvas dentro de la capsulas con un nivel alto nivel de desarrollo en compañía de larvas menos desarrolladas y larvas en compañía de un gran número de huevos nodriza (Larvas tipo III). Otras cápsulas solo contenían huevos nodriza sin presencia de larvas. Se encontró presencia de larvas dentro de los ostiones en los canales. Las larvas dentro de las cápsulas eran liberadas al momento de manipular el ostión para extraer los poliquetos por el rompimiento de la cápsula o madriguera. Estas larvas exhibieron en su mayoría un avanzado nivel de desarrollo y ninguna mostraba las características de una larva planctotrófica ya que presentaban más de 3 segmentos setígeros así como palpos desarrollados y algunos casos pérdida de capacidad natatoria, así como cambios en la pigmentación con oscurecimiento y bandeo en el cuerpo (Figura 19)

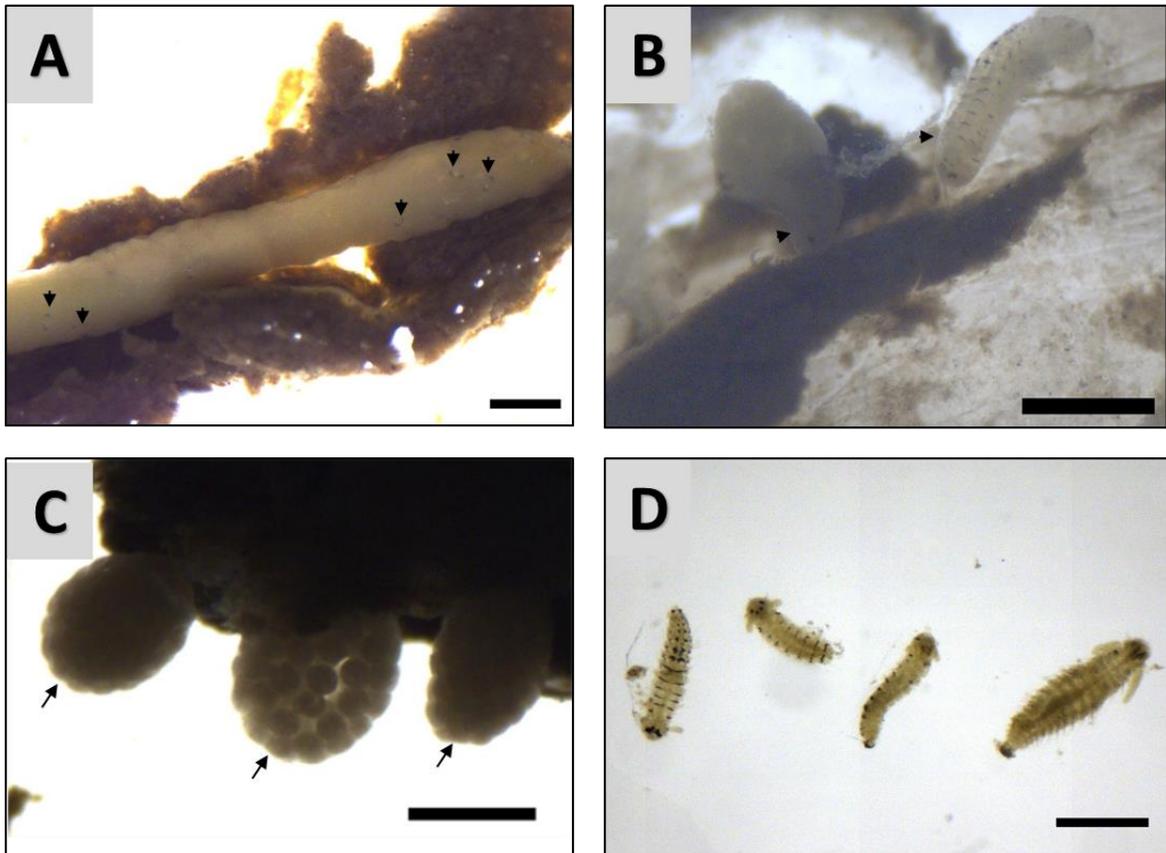


Figura 20. Tipos de descendencia observada. A: Cápsulas con huevos depositadas en tubo de lodo, las flechas indican la presencia de larvas rodeadas de huevos nodriza; B: Larvas adelfofágicas con un avanzado nivel de desarrollo liberadas al momento de la extracción. C: Cápsulas con huevos nodriza sin presencia de larvas. D: Larvas con diferente nivel de desarrollo liberadas de un tubo de lodo con presencia de palpos y variable número de segmentos. Escala 500= μm .

4.7 Desarrollo larval

En cuanto a las larvas encontradas en el agua como resultado de los filtrados periódicos, éstas se observaron en diferentes niveles de desarrollo a través del tiempo. No se observó un patrón temporal de crecimiento conforme el paso de los días. Se presentaron larvas con un avanzado nivel de desarrollo desde los días iniciales del bioensayo, pues el pigidio estaba completamente desarrollado y los palpos alargados asimismo la presencia del quinto par de segíteros modificados. Era evidente que estas larvas se encontraban en etapa de asentamiento, exhibiendo la pérdida de las características larvales de la etapa zooplanctónica. Tanto el grupo control como el tratamiento, presentaron metamorfosis a partir del día 5 cuando se llevó a cabo el primero filtrado del experimento. Exhibían los primordios de los palpos, así como la presencia de más de 20 segmentos; Posteriormente, las larvas observadas al día 25 en la segunda etapa

del experimento cuando éstas ya se encontraban a 19 °C se observó un desarrollo marcado de los palpos más alargados y pigmentados. La pigmentación cambio de trasparente a amarillenta característica de la fase adulta. La formación del pigidio era definida e incluso se lograba observar la presencia del quinto setígero modificado. Para el día 43 cuando las larvas fueron expuestas 22°C durante 3 días, estas exhibían un desarrollo similar al descrito anteriormente a la par de un aumento de segmentos a más de 20. En contraste al grupo de larvas mantenidas a 16°C también mostraron un considerable desarrollo avanzado, desde el inicio del experimento. También en el día 30 las larvas observadas mantenían un nivel de desarrollo avanzado. No obstante, en el día 43 se observaron larvas menos desarrolladas con palpos en desarrollo temprano sin rebasar los 20 segmentos y pigidio poco definido. Aparentemente, la reproducción de los poliquetos dentro de los ostiones fue constante, sin ser detectada visiblemente una diferencia entre el desarrollo del grupo control y los diferentes tratamientos de temperaturas (Figura 20).

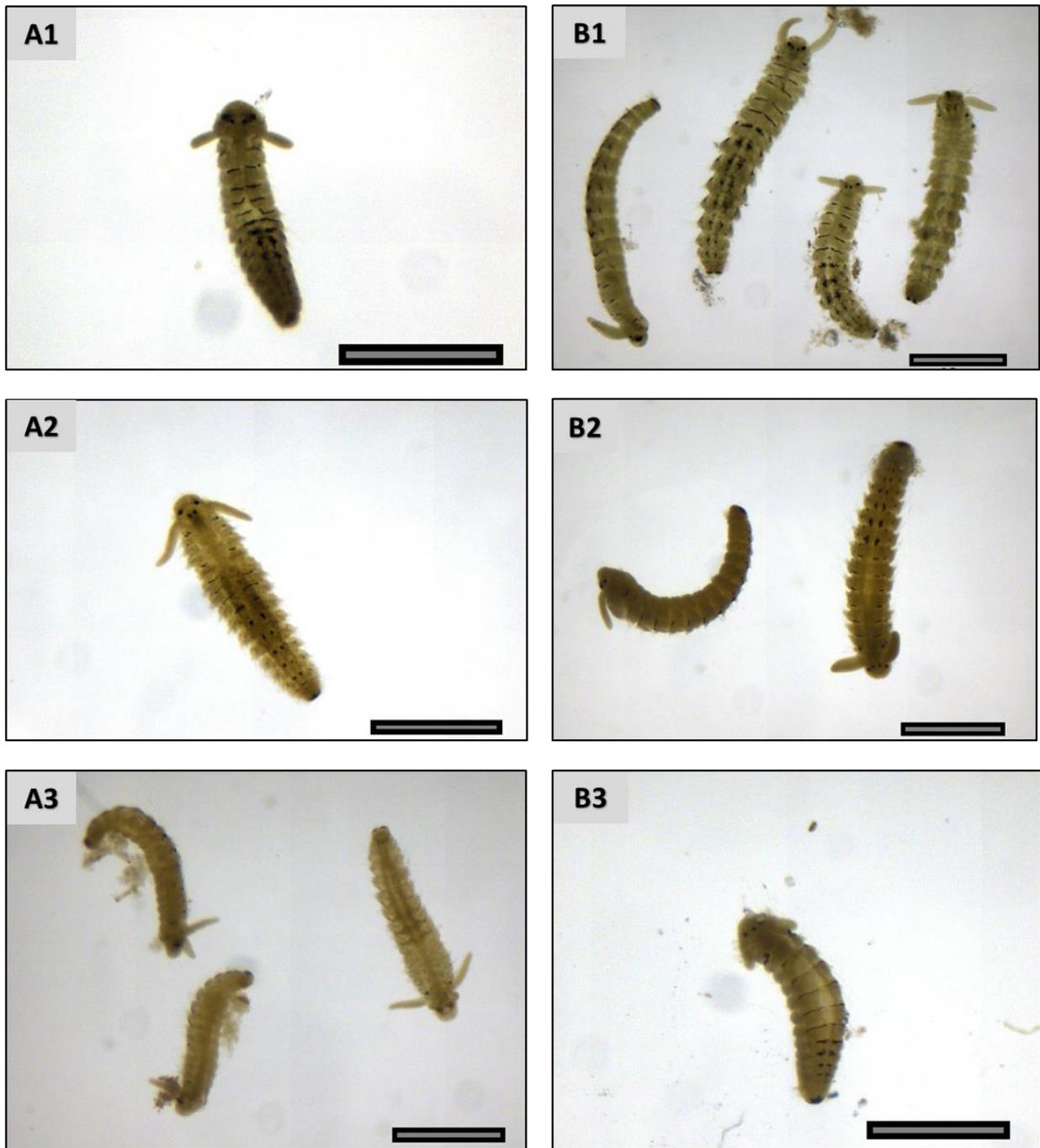


Figura 21. Estadios larvales de polidóridos observados en laboratorio. Donde A1-A3 son larvas extraídas del grupo control y B1-B3 corresponden al grupo expuesto al incremento de temperatura, en diferentes días después de haber iniciado el experimento. A1: Día 5-Temp 16 °C; A2: Día 25-Temp 19°C; A3: Día 43-Temp 22°C. B1: Día 15-Temp 16°C; B2: Día 30 Temp -16°C; B3: Día 43 Temp -16°C. Escala = 500µm.

Capítulo 5. Discusión

5.1 Identificación morfológica de los espionidos

Cómo se mencionó anteriormente, la familia Spionidae representa uno de los grupos más grandes de poliquetos. Dentro de ellos, los polidóridos o complejo *Polydora* se caracterizan por poseer el quinto setígero modificado para poder perforar los sustratos en dónde se asientan (Light, 1978; Blake, 1996; Walker, 2011), en el presente trabajo todos los ejemplares presentaron esta característica. En este sentido, cabe señalar que la identificación a nivel de especie considerando características morfológicas y patrones de coloración característicos es muy complicada en el caso de este grupo de organismos, más aún si los organismos ya han sido fijados. Ye et al. (2015) mencionan que “incluso los taxonomistas experimentados pueden encontrar dificultades para determinar la taxonomía de los polidóridos cuando se basan únicamente en la morfología de los gusanos adultos”. Inicialmente se había contemplado la identificación de los organismos encontrados mediante análisis genético a nivel molecular, para lo cual se tomaron las muestras correspondientes. Lamentablemente, debido a la pandemia este proceso tuvo que ser interrumpido; En este sentido, se ha manejado el término de polidóridos hasta que no se pueda realizar la identificación específica necesaria a nivel molecular. Cabe mencionar que, en el estudio realizado por

Cáceres-Martínez *et al.*, (1998) sobre gusanos perforadores en la misma localidad y en el mismo tipo de arte de cultivo, también identificaron a la especie dentro del género *Polydora* mediante taxonomía convencional; Aún con este antecedente, es necesaria una identificación más precisa con la ayuda de técnicas moleculares ya que cómo hemos visto la taxonomía convencional para estas especies tiene limitaciones. Por ello, otros estudios que documentan la presencia de *Boccardia* como causante de perforaciones en conchas de *C. gigas* cultivadas en el pacífico en las costas del estado de Jalisco (Gallo-García y García Ulloa, 2005), y de una nueva especie de *Polydora* en la almeja mano de león en Baja California Sur (Gonzales Ortiz, 2016) también requieren una confirmación molecular, pues podrían pertenecer a la misma especie registrada para Bahía San Quintín o un complejo de especies diferentes.

5.2 Distribución y abundancia de polidóridos en plancton y bentos

A pesar de no encontrarse diferencias estadísticamente significativas respecto a la abundancia promedio de polidóridos adultos en el bentos se observó una tendencia mayor abundancia en noviembre (210 ± 227)

y diciembre (155 ± 111 ind/m²) respectivamente. En cuanto a la presencia de larvas en el plancton, la mayor abundancia se encontró en diciembre (291 ± 150 larvas/m³) y enero (274 ± 281 larvas/m³) mostrando diferencias estadísticamente significativas ($P=0.14$) por lo que en ambos casos (bentos y plancton) el mayor número de polidóridos se registró durante los meses más fríos. Esto indica que el proceso reproductivo y el desarrollo larval estaban activos; Aunque, en baja intensidad dada la escasa abundancia de estadios larvales. Blake (1996) y Radashevsky *et al.* (2006) mencionan que la reproducción de los espionidos se ve ampliamente favorecida por el incremento de la temperatura. Bertasi (2016) observó la presencia de hembras en condición reproductiva en verano, pero también menciona que *Polydora cornuta* tiene la capacidad de reproducirse incluso durante el invierno y llegar a colocar puestas de huevos más de una vez por época reproductiva de modo que su alta tasa de reproducción le ha permitido establecer poblaciones en densidades altas y compensar las altas mortalidades durante el asentamiento; Al respecto, Juabet *et al.*, (2014) observaron que *Boccardia proboscidea* se reproduce durante todo el año; pero un mayor número de cápsulas y larvas se encontraron durante primavera y verano en comparación con otoño e invierno. Como podemos ver, es necesario complementar el presente trabajo con muestreos durante todo un ciclo anual que nos permitan tener un panorama más completo de este proceso.

Por otra parte, la distribución de ejemplares adultos en el bentos y de las larvas en el plancton encontrada en el presente estudio, fue homogénea en Bahía San Quintín con base a los cuatros sitios de estudios analizados, y aun cuando en la boca de la bahía el sedimento era compacto y arenoso, pobre en materia orgánica y registró las temperaturas más bajas; Chávez-de Nishikawa y Álvarez-Borrego (1974) mencionan que los sedimentos de la bahía son muy variados, se presentan desde limos hasta arenas gruesas teniendo un efecto sobre la turbidez del agua y la productividad primaria de la región debido a que se sabe que la influencia de las surgencias generadas por la corriente de California traen nutriente del fondo hacia la superficie evento que varía estacionalmente y aunque Bustos-Serrano *et al.* (2017) mencionan que estos eventos son más intensos entre mayo y agosto, éstas variaciones en la productividad primaria pueden influir directamente en la supervivencia y por lo tanto en la abundancia de larvas de polidóridos encontrada en este estudio donde se encontró mayor abundancia de larvas en los meses de noviembre, diciembre y enero donde se encontraron diferencias respecto al resto de los meses. Los valores de temperaturas bajas más extremos se encuentran en la boca de la bahía incrementando hacia la parte media de la misma, descripción que coincide con lo encontrado en el estudio, de modo que los polidóridos mostraron un amplio umbral de tolerancia hacia las variables ambientales; Bertasi (2016) indicó que algunas especies de la familia Spionidae, tal como *Polydora cornuta*, tienen una amplia tolerancia hacia las fluctuaciones de salinidad, temperatura y tipos de sedimento.

5.3 Efecto de la temperatura sobre índice de condición

Se encontró que el índice de condición disminuyó 5 unidades en la fase uno y dos respecto al índice de condición inicial, pero no hubo diferencias en los organismos expuestos a 16°C y 19°C, por lo que la disminución abrupta del índice de condición podría ser ocasionado por el tipo de alimentación de los ostiones, Panana-Villalobos (2012) encontró una disminución de 20 unidades en el índice de condición de *Crassostrea sikamea* expuestos a 18°C y 20 °C alimentados con la misma dieta administrada a los organismos en el presente estudio, aunque él lo atribuyó tanto al cambio de la temperatura como alimentación, debido a que el aporte nutricional que los organismos obtienen en aguas naturales es superior.

No se detectó correlación en cuanto a la superficie del daño y el índice de condición, pero probablemente la cantidad de ostiones estudiados resulta escasa y se requiere de estudios de laboratorio más prolongados que permitan concluir si existe un posible efecto negativo de los polidóridos sobre el índice de condición en su hospedero. Esta correlación también debe ser estudiada en campo para obtener una estimación de las pérdidas en rendimiento para los productores. Independientemente, si el daño causado por estos gusanos afecta o no al índice de condición del hospedero que se refleje en pérdidas de rendimiento, el mal aspecto de la concha que producen las ampollas y su desagradable olor impide su comercialización lo que representa pérdidas económicas para el productor.

5.4 Poecilogonia como estrategia reproductiva

En cuanto a la actividad reproductiva observada no se vio inhibida a la temperatura más baja de 16°C ni a 19°C. Se observó constantemente la presencia de larvas dentro de cápsulas con huevo nodriza (tipo II); Jaubet y colaboradores (2014) estudiaron la reproducción del polidórido *B. proboscidea* observaron larvas tipo I,II,III de acuerdo con la clasificación de Gibson (1997) y un tipo no definido donde se encontraron cápsulas que únicamente contenían huevos nodriza. También observado en este trabajo. Por otra parte, las larvas que fueron liberadas como consecuencia del manejo al extraer los poliquetos exhibían diferentes niveles de desarrollo; sin embargo, hubo ausencia de larvas planctónicas de 3 setígeros y la mayoría mostraron un nivel de desarrollo avanzado, con características de un gusano adulto. Diversos autores

mencionan la poecilogonia como estrategia reproductiva, la cual se basa en la cantidad de huevos nodriza que la hembra deposita en las cápsulas, de modo que el nivel de desarrollo de las larvas depende de la disponibilidad de alimento dentro de la cápsula, pudiendo llegar a ausentarse de la etapa plantónica (Chia *et al.* 1996; Gibson, 1997; Jaubet *et al.*, 2014). Chia *et al.* (1996) mencionan que la poecilogonia ofrece ventajas al organismo al poder optar por alguno de los dos tipos de desarrollo, uno de periodo corto o la ausencia de la fase planctónica permite la disponibilidad inmediata para colonizar nuevos hábitats y un rápido crecimiento de la población; por la otra el desarrollo indirecto (con fase planctónica) proporciona mayor dispersión y flujo genético. Asimismo, el fenómeno de poecilogonia ha sido documentado en varias especies de la familia Spionidae integrantes del complejo de los polidóridos, tales como *Polydora*, *Pseudopolydora kempii* y *B. proboscidea* (Blake y Arnofsky 1999). Así, la ocurrencia de dicho fenómeno es probablemente clave para la colonización de los cultivos del ostión debido a que en ausencia de la fase planctónica los gusanos eclosionan listos para invadir rápidamente a nuevos organismos.

Respecto a las larvas que se obtuvieron de los filtrados periódicos las cuales mostraban el mismo nivel de desarrollo al inicio y en los últimos días del experimento e incluso se observaron larvas menos desarrolladas en los últimos días. Esto indica que los polidóridos continuaron reproduciendo a lo largo del experimento en todas las temperaturas aplicadas. Al respecto, Bertasi (2015) menciona que las hembras pueden guardar los espermatozoides liberados por el macho para ser usados posteriormente. En las hembras se observaron ovocitos en la cavidad celómica entre los setígeros medios (13-15) y en los machos se llega a observar un parche de esperma denso, característica similar a la que se observó en las hembras extraídas al finalizar la fase uno y dos del experimento. Las larvas obtenidas de los filtrados que se realizaron, no correspondían a las características de larvas planctotróficas. Este tipo de desarrollo larval les ha permitido a los espionidos seguir estableciendo sus poblaciones y colonizando los ostiones gracias a su afinidad de estos especímenes por sustratos calcáreos (Blake y Evans, 1973). Se ha documentado que la adelfofagia como estrategia de desarrollo, les permite permanecer dentro del ostión e infestar nuevos organismos una vez que se encuentran en su etapa adulta, mitigando los cambios en las condiciones ambientales que de otra forma pudieran llegar a perjudicar la supervivencia de las larvas, tales como la baja disposición de alimento durante el invierno, así como la depredación a la que se ven expuestos en la etapa planctónica (Almeda *et al.*, 2009).

Algunos autores mencionan que se puede presentar la liberación de gametos durante enero e incluso se pueden encontrar poliquetos con larvas a finales de octubre. Sin embargo, es sabido que la liberación masiva de gametos se presenta durante marzo cuando las temperaturas incrementan (Wilson 1928). En *B. proboscidea*, se determinó que la presencia de cápsulas con larvas adelfofágicas que eclosionan con un

desarrollo más avanzado, aumentaron durante invierno (Jaubet et al., 2014), coincidiendo con la actividad reproductiva encontrada en el presente trabajo. No obstante, es necesario establecer el comportamiento reproductivo anual del polidórido de modo que se compruebe si ésta es una estrategia estacional y si la presencia de larvas plantónicas tipo I y III incrementan en las estaciones cálidas.

El descubrimiento de la ocurrencia de poecilogonia en el presente trabajo es de gran relevancia para el productor acuícola ya que nos indica que la infestación no necesariamente ocurre vía asentamientos de larvas del plancton estacionalmente, sino que, una vez colonizado el ostión, el aumento en la intensidad de infestación ocurre dentro del propio hospedero. Por tanto, la detección temprana ayudaría a comercializar el producto antes de que la infestación se incremente. Otro factor importante sería disminuir densidades de cultivo que limiten el contacto entre ostiones infestados en los que pudiera darse una transmisión por contacto.

Capítulo 6. Conclusiones

1. El poliqueto encontrado en Bahía San Quintín contiene las características morfológicas del grupo de los polidóridos dentro de la familia Spionidae.
2. Las larvas de polidóridos se distribuyen de manera homogénea a lo largo de la bahía.
3. Los polidóridos adultos se distribuyen homogéneamente en el bentos de la bahía.
4. La abundancia de los polidóridos adultos fue homogénea en el periodo muestreado (agosto 2019-enero 2020).
5. La abundancia de las larvas de polidóridos fue mayor en noviembre, diciembre y enero respecto los otros meses del periodo de tiempo (agosto 2019-enero 2020).
6. Los polidóridos encontrados en Bahía San Quintín utilizan la poecilogonia como estrategia reproductiva y de infestación durante el invierno.
7. La reproducción de los polidóridos es similar en un rango de temperatura de 16-22°C.
8. No existe correlación entre el índice de condición y la superficie de daño ocasionada por las ampollas producidas por los polidóridos.
9. La información obtenida puede ser la base para establecer medidas de control de estos polidóridos

Capítulo 7. Recomendaciones

Realizar la identificación de los especímenes de polidóridos presentes en el bentos y zooplancton por medio de técnicas moleculares.

Realizar muestreos mensuales de bentos y zooplancton que abarquen todo el año para poder observar el comportamiento reproductivo de los polidóridos de forma y determinar patrones temporales en cuanto la presencia del fenómeno de poecilogonia.

Es necesario concluir la evaluación del efecto de los polidóridos sobre la reproducción y el índice de condición de los ostiones a temperatura de 22°C.

Mantener las densidades de los cultivos controladas para evitar una infestación por contacto directo.

Aplicar protocolos de control al realizar la limpieza de los ostiones, para evitar la propagación de los polidóridos por medio de la regeneración de los gusanos (arquitomía).

Literatura citada

- Almeda R., Pedersen T. M., Jakobsen H., Alcaraz M., Calbet A., Hansen B. W. 2009. Feeding and growth kinetics of the planktotrophic larvae of the spionid polychaete *Polydora ciliata* (Johnston). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 382: 61-68.
- Blake J. A. 1969. Reproduction and larval development of *Polydora* from Northern New England (Polychaeta: Spionidae). *Ophelia*, 7: 1-63.
- Blake J. A. 1971. Revision of the genus *Polydora* from the east coast of North America (Polychaeta: Spionidae). *Smithsonian Contributions to zoology*, 75: 1-32.
- Blake J. A. 1996. Family Spionidae Grube, 1850. En: Taxonomic Atlas of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel. Volume 6 — The Annelida Part 3. Polychaeta: Orbiniidae to Cossuridae. Santa Barbara Museum of Natural History. Santa Barbara California. 81-223.
- Blake J. A., Evans J. W. 1973. *Polydora* and related genera as borers in mollusk shells and other calcareous substrates (Polychaeta: Spionidae). *Veliger*, 15 (3): 235-249.
- Blake J. A., Arnofsky P. L. 1999. Reproduction and larval development of the spioniform Polychaeta with application to systematics and phylogeny. *Hydrobiologia*, 402: 57-106.
- Bertasi F. 2016. The occurrence of the alien species *Polydora cornuta* Bosc, 1802. (Polychaeta: Spionidae) in North Adriatic lagoons: an overlooked presence. *Italian Journal of Zoology*, 83 (1): 77-88.
- Bustos Serrano H., Herrera Canino S. R., Naranjo Ortiz D. A., Sánchez Gonzalez A. 2017. Evaluación de la calidad de agua y sedimento, en San Quintín durante época de mareas muertas, abril 2017. Consultado el 13 de septiembre de 2020 en https://www.researchgate.net/publication/318351518_Bahia_San_Quintin_BC_Mexico_Abril_2017#fullTextFileContent
- Cáceres Martínez J., Macías Montes de Oca P., Vásquez Yeomans R. 1998. *Polydora* sp. infestation and health of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* cultured in Baja California, NW. México. *J. Shellfish Research*, 17: 259-254.
- Cáceres Martínez J., Tinoco G. D., Unzueta Bustamante M. L., Mendez Gomez-Humaran I., 1999. Relationship between the burrowing worm *Polydora* sp. and the black clam *Chione Flutifraga* showerby. *Journal of Shellfish Research*, 18 (1): 85-89.
- Cáceres-Martínez J. 2001. Parasitología en moluscos pectónidos pp. 343-356. En: A.N. Maeda-Martínez (ed.) *Los Moluscos Pectínidos de Iberoamérica : Ciencia y Acuicultura*. Editorial Limusa, México.
- Cáceres Martínez J. 2003. Gusanos perforadores de los géneros *Polydora* y *Broccardia* y su impacto en el cultivo de los moluscos. *Programa Nacional de Sanidad Acuicola y la red de diagnóstico*, 6 (4): 24.
- Cáceres Martinez J., Hernandez Mercado Y., Cruz Flores R., Muñoz Flores M., Vásquez Yeomans R. 2016. Identification of burrowing worms and bacteria associated with Shell injuries on red abalone cultured in Baja California, Mexico. *World Aquaculture*, 47 (3): 55-58.

- Calderón-Aguilera L. E., Jorajuria-Corbo A., 1986. Nuevos registros de especies de poliqueto (Annelida: Polychaeta) para la Bahía de San Quintín, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 12 (3): 41-61.
- Chávez-de Nishikawa A. G., Álvares-Borrego S. 1974. Hidrología de la Bahía de San Quintín, Baja California, en invierno y primavera. *Ciencias Marinas*, 1(2):31-61.
- Chia F. S., Gibson G., Qian P. Y. 1996. Poecilogony as a reproductive strategy of marine invertebrates. *Oceanologica Acta*, 19 (3-4): 203-208.
- Clements J. C., Bourque D., McLaughlin J., Stephenson M., Comeau L. A. 2018. Wanted dead or alive: *Polydora websteri* recruit to both live oyster and empty shells of the eastern oyster, *Crassostrea virginica*. *Journal of Fish Diseases*, 41 (5): 855-858.
- Díaz D. O., Liñero-Arana I. 2009. Percentage of infestation level of *Polydora cf. websteri* Hartman, 1943 (Polychaeta: Spionidae) by size class of *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) on La Restinga Lagoon (Margarita Island, Venezuela). *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia*, 19: 113-118.
- FAO. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Consultado el 15 de agosto de 2020 en <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- Gallo García., García Ulloa. M. 2005. *Boccardia* sp. (Polychaete: Spionidae) presence in *Crassostrea gigas* [Thunberg, 1873] oyster reared in the mid coast of the Mexican Pacific. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 9 (3): 45-48.
- García Esquivel Z., Gonzalez Gómez M. A., Ley Lou F., Mejía Trejo A. 2004. Potencial ostrícola del brazo oeste de Bahía San Quintín: Biomasa actual y estimación preliminar de la capacidad de Carga. *Ciencias Marinas*, 30 (1A): 61-74.
- Gaviño de la Torre G., Juárez López C., Figueroa Tapia H.H., 1999. Técnicas biológicas selectas de laboratorio y de campo. Segunda edición. Limusa. México. pp 243-245.
- Gibson J. D. 1997. Variable development in the spionid *Boccardia proboscidea* (Polychaeta) is linked to nurse egg production and larval trophic mode. *Invertebrate Biology*, 116 (3): 213-226.
- Gibson G. D., Gibson J. F. 2004. Heterochrony and the evolution of poecilogony: generating larval diversity. *Evolution*, 58 (12): 2704-2717.
- González-Ortiz L. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) y esponjas (Porifera: Demospongiae) perforadores de la Almeja Mano de León (*Nodipecten subnodosus*) en la Laguna de Ojo de Liebre, Guerrero Negro, Baja California Sur, México. 2016. Tesis de Doctorado en ciencias con Acentuación en Manejo de vida silvestre y desarrollo sustentable. Universidad Autónoma de Nuevo León. 157 pp.
- González-Ortiz L., Hernández-Alcántara P., Vázquez-Juárez R., Quiroz-Guzmán E., García-Garza M. E., León-González J. 2017. Variación espacial y temporal de la infestación de la concha por *Polydora* sp. (Spionidae: Polychaeta) sobre la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) en la laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(4): 845-852.
- Handley S. J., Bergquist P. R. 1997. Spionid polychaete infestations of intertidal pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg), Mahuarangi Harbour, northern New Zealand. *Acuaculture*, 135: 191-205.

- Hernandez-Alcántara P., González-Ortiz L., Solís-Weiss V. 1994. Los espiónidos (Polychaeta: Spionidae) del Golfo de California y Golfo de Tehuantepec, México. *Revista de Biología Tropical*, 42 (3): 567-577.
- Hickman R. W., Illingworth J. 1980. Condition cycle of the Green-Lipped Mussel *Perna canaliculus* in New Zealand. *Marine Biology*, 60: 27-38.
- Jaubet M. L., Garaffo G.V., Callarino E. A., Elias R. 2014. Invasive polychaete *Boccardia proboscidea* Harmant, 1940 (Polychaeta: Spionidae) in sewage-impacted areas of the SW Atlantic coast: morphological and reproductive patterns. *Marine Ecology*, 36 (3): 611-622.
- Kesäniemi J. 2012. Variation in developmental mode and its effects on divergence and maintenance of populations. *Jyväskylä Studies in Biological and Environmental science, Finland*, 243: 147.
- Light, W. J. 1978. Spionidae (Polychaeta, Annelida). *Invertebrates of the San Francisco Bay Estuary System*. Boxwood, Pacific Grove, California. pp 28-41.
- Maeda-Martínez, A. N. 2008. Estado Actual Del Cultivo de Bivalvos En México. (pp. 91-100) En: Lovatelli A., Farías A. y Uriarte I. (eds) Estado Actual del Cultivo y Manejo de Moluscos Bivalvos y su Proyección Futura. FAO. Roma.
- Martin D. T., Britayev T. A. 1998. Symbiotic polychaetes: Review of known species. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 36: 217-340.
- McDonald J. H. 2014. *Handbook of the biological statistics*. Sparky House Publishing (3ra ed) Baltimore, Maryland. pp 141-145.
- Orth R.J. 1971. Observations on the Planktonic Larvae of *Polydora ligni* Webster (Polychaeta: Spionidae) in the York River, Virginia. *Chesapeake Science*, 12 (3): 121-124.
- Osorno-Velázquez A. I. 2000. Impacto del cultivo de moluscos filtroalimentadores en el fitoplancton y calidad del agua de Bahía San Quintín. Tesis de maestría en ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 60 pp.
- Panana Villalobos E. 2012. Maduración y tasa metabólica del ostión Kumamoto *Crassostrea sikamea* (Amemiya, 1928) en un sistema de recirculación acuícola. Tesis de maestría en ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. 92 pp.
- Radashevsky, V., Hwey L. H., 2000. *Polydora* (Polychaeta: Spionidae) species from Taiwan. *Zoological Studies*, 39 (3): 203-217.
- Radashevsky, V., Lana P. C. 2006. Morphology and biology of *Polydora* species (Polychaeta: Spionidae) boring into oyster shells in South America, with the description of a new species. *Zootaxa*, 1353: 1-37.
- Sato-Okoshi W., Okoshi K. 1993. Microstructure of scallop and oyster shells infested with boring *Polydora*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59 (7): 1243-1247.
- Sato-Okoshi W., Okoshi K., Abe H., Li J. Y. 2013. Polydorid species (Polychaeta, Spionidae) associated with commercially important mollusk shells from Eastern China. *Aquaculture*, 406-407: 153-159.

- Tinoco-Orta G. D., 2001. Infestación del poliqueto perforador *Polydora* sp. nov. En la almeja *Chione fluctifraga* (Sowerby). Tesis de maestría en ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C. 97 pp.
- Tinoco-Orta G. D., Cáceres-Martínez J. C. 2003. Infestation of the clam *Chione fluctifraga* by the burrowing worm *Polydora* sp. nov. in laboratory conditions. *Journal of Invertebrate Pathology*, 83: 196-205.
- Walker L. M. A 2011. Review of the current status of the *Polydora*-Complex (Polychaeta: Spionidae) in Australia and a checklist of recorded species. *Zootaxa*, 2751: 40-62.
- Wilson, D. 1928. The larvae of *Polydora ciliata* Johnston and *Polydora hoplura* Caparede. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 15 (2): 567-603.
- Ye L., Tang B., Wu K., Su Y., Wang R., Yu Z., Wang J. 2015. Mudworm *Polydora lingshuensis* sp. n is a new species that inhabits both shell burrows and mudtubes. *Zootaxa*, 3986 (1): 088-100.
- Zottoli R. A y Carriker M. R. 1974. Burrow morphology, tube formation, and microarchitecture of shell dissolution by Spionid Polychaete *Polydora websteri*. *Marine Biology*, 27: 307-316.