

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



---

**Maestría en Ciencias  
en Acuicultura**

---

**Presencia y efecto de polidóridos en el ostión *Crassostrea  
gigas* cultivado en Bahía San Quintín B.C. México**

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

Presenta:

**Itzel Soledad Pérez Bustamante**

Ensenada, Baja California, México  
2020

Tesis defendida por  
**Itzel Soledad Pérez Bustamante**

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

*Itzel Soledad Pérez Bustamante © 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 **Itzel Soledad Pérez Bustamante** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestra en Ciencias en Acuicultura

Presencia y efecto de polidóridos en el ostión *Crassostrea gigas* cultivado en Bahía San Quintín B.C. México

Resumen aprobado por:

---

Dr. Jorge Abelardo Cáceres Martínez  
Director de tesis

El ostión *Crassostrea gigas*, es un molusco bivalvo importante para la acuicultura a nivel mundial. En México, la mayor producción se realiza en Bahía San Quintín, B.C. Uno de los problemas sanitarios que enfrenta su cultivo, es la infestación por gusanos perforadores (polidóridos) que generan alteraciones en la concha, bajo rendimiento, infecciones secundarias, mortalidad y problemas de comercialización por el mal aspecto del producto. La producción ostrícola de Bahía San Quintín no ha escapado a esta problemática y al parecer esta ha venido en aumento. Lamentablemente, en México existen muy pocos estudios al respecto que permitan conocer la extensión del problema y establecer medidas de control. El objetivo del presente estudio fue identificar por taxonomía convencional, a los polidóridos que afectan al ostión en la bahía mencionada, determinar su distribución, prevalencia, intensidad, efecto en la concha, y su relación con en el índice de condición (IC) del hospedero. Adicionalmente, se identificaron, por bacteriología convencional, bacterias potencialmente patógenas aisladas de las alteraciones de la concha que pudieran sugerir el riesgo de aparición de infecciones secundarias. Se analizaron 1,080 ostiones recolectados mensualmente en 6 puntos de la bahía. Mediante un análisis en fresco se determinó la prevalencia e intensidad de las infestaciones por polidóridos, se caracterizó el daño en la concha de los ostiones con la ayuda de un programa de análisis de imágenes y se determinó el índice de condición. Las características morfológicas indicaron que los gusanos pertenecen a la familia Spionidae específicamente al Complejo-*Polydora*. Se observó la presencia de estos gusanos en todos los puntos estudiados indicando que los polidóridos están bien establecidos en la bahía; sin embargo, las prevalencias e intensidades más altas (66 – 61% y 2 – 3 polidóridos por ostión, respectivamente) se registraron en 3 sitios sin una clara tendencia espacial, posiblemente asociados a condiciones específicas del sitio de cultivo. La prevalencia e intensidad de la infestación no se vieron influenciadas por la estacionalidad al igual que el IC. Lo que puede estar determinado por la estrategia de desarrollo larval (adelfofagia) y el ciclo gonadal. Los daños en la concha causados por el poliqueto, pueden alcanzar hasta el 45 % de su superficie interna y pueden ser de reciente formación o calcificados. Estas características permiten determinar si una infestación esta activa o si es vieja y la presencia de ambas indica eventos de re-infestación. A pesar de los daños en la concha, no se observó una correlación directa con el IC, aunque este si varió espacialmente, asociado con las condiciones específicas de cultivo y, posiblemente, con la condición reproductiva. El análisis bacteriológico mostró la presencia de bacterias tipo *Vibrio*, lo que sugiere que, las lesiones en la concha pueden ser una vía para infecciones secundarias. La información obtenida permitió elaborar una serie de recomendaciones a los productores para ayudar a comprender y controlar de este problema.

**Palabras clave:** *Crassostrea gigas*, infestaciones, polidóridos, clasificación del daño.

Abstract of the thesis presented by **Itzel Soledad Pérez Bustamante** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Aquaculture

Presence and effect of polydorids on the oyster *Crassostrea gigas* cultured in San Quintin Bay B.C. Mexico

Abstract approved by:

---

Dr. Jorge Abelardo Cáceres Martínez  
Thesis Director

The oyster *Crassostrea gigas* is an important bivalve mollusk for worldwide aquaculture. In Mexico, the largest production is carried out in San Quintin Bay, B.C. Infestations by boring worms (polydorids) is a big problem for this activity worldwide. It may cause alterations in the shell, low yield, secondary infections, mortality and commercial problems due to the product's poor appearance. The oyster production of San Quintin Bay has not escaped this problem and it seems that it has been increasing. Unfortunately, there are few studies in this regard in Mexico that allow us to know the extent of the problem and establish control measures. This study aimed to identify, by conventional taxonomy, the polydorids that affect the oyster in the mentioned bay and determine their distribution, prevalence, intensity, effect on the shell, and their relationship with the condition index (CI) of the host. Additionally, potentially pathogenic bacteria isolated from shell alterations that may suggest the risk of secondary infections were identified by conventional bacteriology. Sampling was carried out monthly in 6 points of the bay where 30 oysters were collected in each one during six months. The morphological characteristics indicated that the worms belong to the Spionidae family, specifically to the *Polydora*-Complex. The presence of these worms was observed in all the sites studied, indicating that the polydorids are well established in the bay; however, the highest prevalence's and intensities (66-61% and 2-3 polydorids per oyster, respectively) were recorded in 3 sites without a clear spatial trend, possibly associated with specific conditions of the culture site. The prevalence and intensity of the infestation, and CI were not influenced by season. It can be determined by the larval development strategy (adelphophagy) and the gonadal cycle. The damage shell can reach up to 45% of its internal surface and can be newly formed or calcified. These characteristics make it possible to determine if an infestation is active or old, and the presence of both indicates re-infestation. Despite this, a direct correlation with the CI was not observed, although it did vary with respect to the sampling point, which may also be associated with the specific conditions of the culture site and reproductive condition. Bacteriological analysis showed the presence of *Vibrio*-type bacteria, which suggests that these lesions may be a route for secondary infections. The information obtained allowed the elaboration of a series of recommendations to producers to help them understand and control this problem.

**Keywords:** *Crassostrea gigas*, infestations, polydorid, damage classification.

**Dedicatoria**

*A mis padres Oscar y Leticia por sus grandes enseñanzas, apoyo y amor incondicional.*

*A mis hermanos Abraham y Génesis por ser mis compañeros de vida y sacar siempre lo mejor de mí.*

*A toda mi familia y amigos, en especial a Morgan.*

## Agradecimientos

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

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CISESE), en especial al departamento de Acuicultura por permitirme realizar mis estudios de posgrado en sus instalaciones.

Al Dr. Jorge Cáceres Martínez, por aceptar ser mi director de tesis y confiarme este proyecto. Además, por transmitirme su entusiasmo y conocimiento, así como por ser una guía durante todo este trabajo.

A la Dra. Rebeca Vásquez Yeomans, por formar parte de mi comité de tesis y por su ayuda en el análisis bacteriológico. Así como, por compartir su actitud positiva siempre, su apoyo y paciencia a lo largo de todo este estudio.

A las Dras. Carmen Guadalupe Paniagua Chávez y Bertha Eugenia Lavaniegos Espejo por aceptar formar parte de mi comité de tesis, por sus valiosos comentarios y sugerencias para la realización de esta investigación. Así como, por su compromiso y responsabilidad para la revisión de este escrito.

Al Comité Estatal de Sanidad Acuícola e Inocuidad de Baja California (CESAIBC) por crear la vinculación con los productores de ostión de Bahía San Quintín. Así como por su compromiso, apoyo y confianza durante todo este proyecto.

A los productores de ostión de Bahía San Quintín, especialmente a las empresas Sesma, Brisa Marina, Acuícola Chapala, Acuícola San Quintín, Litoral y Cristóbal Murillo por proporcionar los organismos estudiados, así como, por sus comentarios y compromiso durante todo el periodo de estudio.

Al Dr. Benjamín Barón Sevilla, por permitirme trabajar en su laboratorio y utilizar su equipo para el análisis de muestras durante este estudio.

A la Ocean. Alexandra Ramírez Rosas por su apoyo en los largos análisis en fresco de los organismos estudiados y por su valiosa amistad y consejos.

Al M. en C. Eduardo A. Lozano Hernández por su apoyo incondicional durante toda la maestría y por su ayuda en los largos análisis en frescos.

A mi compañera de laboratorio Jeaneth Ramírez por su apoyo en los análisis en frescos de los ostiones, por su amistad y compañía durante toda la maestría.

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 su apoyo en las cotizaciones y sus consejos.

Al Lic. Francisco Morineau por su apoyo técnico en las salidas de campo y por compartir siempre su buen humor.

A la M. en C. Gissel Dalila Tinoco, por compartir su conocimiento y técnicas moleculares.

A la M. en C. Carmen Vargas, por sus asesoramiento y uso de equipos para técnicas moleculares.

A mis compañeros de generación por su tiempo y amistad. En especial a Sandra y Jazmín que me apoyaron durante los muestreos cuando más lo necesitaba.

## Tabla de contenido

Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos .....	v
Lista de figuras .....	ix
Lista de tablas .....	xii
<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Características del ostión <i>Crassostrea gigas</i> .....	1
1.2 Importancia económica y cultivo del ostión <i>Crassostrea gigas</i> .....	3
1.3 Poliquetos del Complejo- <i>Polydora</i> .....	5
1.4 Casos de infestación por polidóridos en moluscos de importancia comercial .....	8
<b>Capítulo 2. Justificación, hipótesis y objetivos .....</b>	<b>11</b>
2.1 Justificación .....	11
2.2 Hipótesis.....	11
2.3 Objetivo general.....	12
2.4 Objetivos particulares .....	12
<b>Capítulo 3. Metodología .....</b>	<b>13</b>
3.1 Características del sitio de estudio.....	13
3.2 Descripción del muestreo .....	13
3.3 Análisis en fresco de los organismos.....	14
3.4 Cálculo del índice de prevalencia e intensidad .....	15
3.5 Análisis bacteriológico.....	16
3.7 Análisis de imágenes .....	17
3.8 Análisis estadístico .....	18
<b>Capítulo 4. Resultados .....</b>	<b>19</b>
4.1 Identificación taxonómica de los poliquetos encontrados en el ostión <i>C. gigas</i> .....	19
4.2 Presencia, prevalencia e intensidad de polidóridos en el ostión <i>C. gigas</i> .....	22
4.3 Índice de condición del ostión <i>C. gigas</i> cultivado en Bahía San Quintín.....	26
4.4 Daños causados por polidóridos en la concha del ostión <i>C. gigas</i> .....	30
4.4.1 Características de las ampollas encontradas en la concha de <i>C. gigas</i> .....	31



4.4.2 Características de los canales encontrados en la concha de <i>C. gigas</i> .....	34
4.5 Cobertura del daño en la concha del ostión <i>C. gigas</i> .....	36
4.6 Análisis bacteriológico.....	41
<b>Capítulo 5. Discusión .....</b>	<b>43</b>
5.1 Identificación taxonómica de polidóridos.....	43
5.2 Presencia, prevalencia e intensidad de infestaciones por polidóridos en <i>C. gigas</i> .....	44
5.3 Daños en la concha del ostión <i>C. gigas</i> causados por polidóridos.....	46
5.4 Índice de condición del ostión <i>C. gigas</i> con infestaciones por polidóridos .....	48
5.5 Bacterias con potencial patógeno asociadas a las ampollas presentes en <i>C. gigas</i> .....	50
<b>Capítulo 6. Conclusiones .....</b>	<b>51</b>
<b>Capítulo 7. Recomendaciones .....</b>	<b>52</b>
<b>Literatura citada .....</b>	<b>53</b>

## Lista de figuras

Figura	Página
1. Concha de ostión <i>C. gigas</i> . (A) Parte externa e (B) interna de la concha. ....	1
2. Ciclo de vida del ostión <i>C. gigas</i> (Imagen modificada de Tirapé et al., 2007).....	2
3. Sistema de cultivo en sartas utilizado en Bahía San Quintín para el cultivo del ostión <i>C. gigas</i> . ....	4
4. Tipos de perforaciones que pueden causar los poliquetos del género <i>Polydora</i> sobre la concha de moluscos (Modificado de Blake y Evans, 1973). ....	7
5. Mapa de Bahía San Quintín Baja California, México. Se observan los seis puntos de muestreo definidos con los productores de ostión <i>C. gigas</i> y el CESAIBC, que abarcan los dos brazos de la bahía y corresponde a la zona interna (1, 2); zona media y externa del brazo oeste (3, 4) y zona media del brazo este (5, 6).....	14
6. Polidóridos encontrados en el ostión <i>C. gigas</i> cultivado en Bahía San Quintín. A) Cuerpo completo del gusano en donde se observa el área cefálica (Ca), los palpos (Pa), el metastomio (Me) y el pigidio (Pi). B) Parte anterior del poliqueto mostrando los Pa, el prostomio (Pr), el peristomio (Pe), los ojos (Oj), el Me, las setas (Se) y el quinto setígero modificado (Sm). ....	20
7. Fragmento de poliqueto mostrando la región del pigidio (flecha) en forma de copa.....	21
8. Palpos de polidóridos con diferente pigmentación. A) Palpos con barras negras (Flecha). B) Palpos con el perímetro negro (Flecha).....	21
9. A) Puesta de huevos de polidóridos encontradas dentro de las ampollas del ostión <i>C. gigas</i> cultivado en Bahía San Quintín. Se puede observar la cápsula que es un saco transparente con huevos dentro y una larva (Flecha). B) Larva natatoria de polidóridos encontrada dentro de las ampollas (Flecha). ....	22
10. Porcentaje promedio de prevalencia de los polidóridos presentes en <i>C. gigas</i> por sitio de muestreo en Bahía San Quintín. En la parte superior se muestra el error estándar y las letras indican si hubo diferencias significativas $P > 0.05$ .....	23
11. Porcentaje promedio de prevalencia de los polidóridos presentes en <i>C. gigas</i> por mes de muestreo en Bahía San Quintín. En la parte superior se muestra el error estándar. ....	24
12. Intensidad promedio de polidóridos en <i>C. gigas</i> por sitio de muestreo en Bahía San Quintín. En la parte superior se muestra el error estándar y las letras indican si hubo diferencias significativas $P < 0.05$ .....	25

13. Intensidad promedio de polidóridos presentes en *C. gigas* por mes de muestreo en Bahía San Quintín. En la parte superior se muestra el error estándar. ....26
14. Porcentaje promedio del Índice de condición del ostión *C. gigas* por sitio de muestreo durante el periodo de estudio. En la parte superior se muestra el error estándar y las letras indican si hubo diferencias significativas  $P < 0.05$ . ....28
15. Porcentaje promedio del Índice de condición del ostión *C. gigas* por sitio de muestreo en Bahía San Quintín. En la parte superior se muestra el error estándar y las letras indican si hubo diferencias significativas  $P < 0.05$ . ....29
16. Porcentaje promedio del Índice de condición del ostión *C. gigas* por mes de muestreo en Bahía San Quintín. ....**¡Error! Marcador no definido.**
17. Ampollas de reciente formación causadas por polidóridos encontradas en el interior de la concha del ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín. A) Valva derecha con ampolla pequeña sin cubierta de conquiolina que ocasionó un daño ligero en la concha. B) y C) Valvas derechas con ampollas que ocasionaron un daño moderado en la concha. D) Valva izquierda y derecha con ampollas que ocasionaron un grado de daño severo en la concha. Las flechas indican el área dañada por la ampolla. ....33
18. Ampollas calcificadas causadas por polidóridos encontradas en el interior de la concha del ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín. A) Valva derecha con dos ampollas calcificadas de color gris oscuro. B) Valva derecha con una ampolla calcificada de color gris claro. Las flechas indican el área donde se encuentran las ampollas. ....34
19. Canales de reciente formación causados por polidóridos encontrados en el interior de la concha del ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín. A) Valva derecha con presencia de canales pequeños en forma de túnel sin cubierta de conquiolina, adyacentes a la periferia de la concha. B) Valva derecha con un canal en forma de túnel cubierto por una delgada capa de conquiolina. C) Valva derecha con un canal en forma de U cubierto por una delgada capa de conquiolina. Las flechas indican el área donde se encuentran los canales. ....35
20. Canales calcificados causados por polidóridos encontrados en el interior de la concha del ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín. A) Valva derecha con presencia de tres canales en forma de túnel con lodo en el interior, ubicados hacia la periferia de la concha. B) Valva derecha con un canal calcificado en forma de U. C) Valva derecha con dos canales en forma de U cubiertos por una gruesa capa calcificada. Las flechas indican el área donde se encuentra los canales. ....36
21. Cobertura promedio del daño (%Cd) causado por polidóridos sobre la concha del ostión *C. gigas* por sitio y mes de muestreo. En la parte superior se muestra el error estándar y las letras indican si hubo diferencias significativas  $P < 0.05$ . ....38

22. Cobertura promedio del daño causado por polidóridos sobre la concha del ostión *C. gigas* por sitio de muestreo en Bahía San Quintín. En la parte superior se muestra el error estándar y las letras indican si hubo diferencias significativas  $P < 0.05$ . .....39
23. Cobertura promedio del daño causado por polidóridos sobre la concha del ostión *C. gigas* por mes de muestreo. En la parte superior se muestra el error estándar. ....40
24. Porcentaje promedio de la cobertura del daño causado por polidóridos sobre la valva izquierda y derecha de la concha del ostión *C. gigas*. En la parte superior se muestra el error estándar y las letras indican si hubo diferencias significativas  $P < 0.05$ . ....41

## Lista de tablas

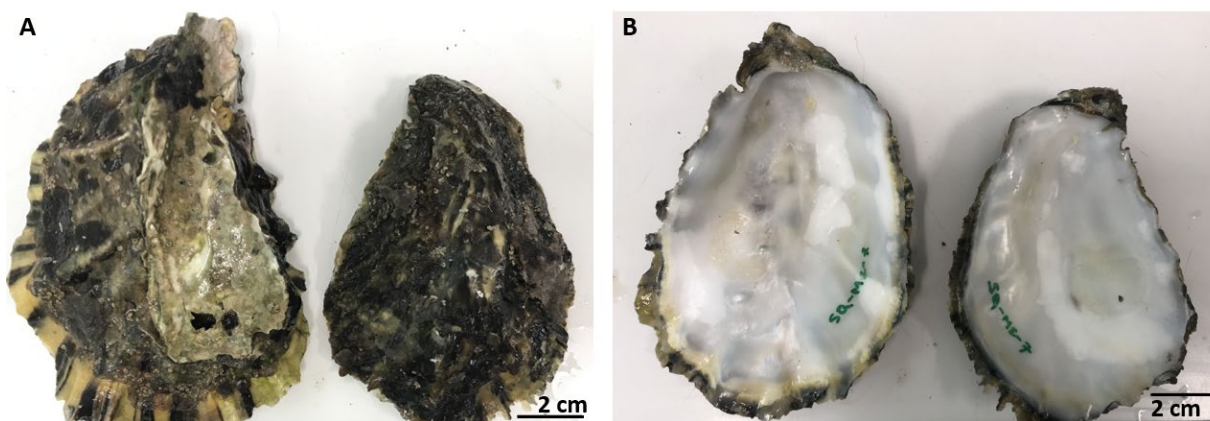
Tabla	Página
1. Clasificación del daño en la concha de <i>C. gigas</i> causado por la presencia de polidóridos.....	31
2. Caracterización fenotípica y bioquímica de las cepas bacterianas aisladas de las ampollas presentes en la concha del ostión <i>C. gigas</i> cultivado en Bahía San Quintín.....	42

## Capítulo 1. Introducción

---

### 1.1 Características del ostión *Crassostrea gigas*

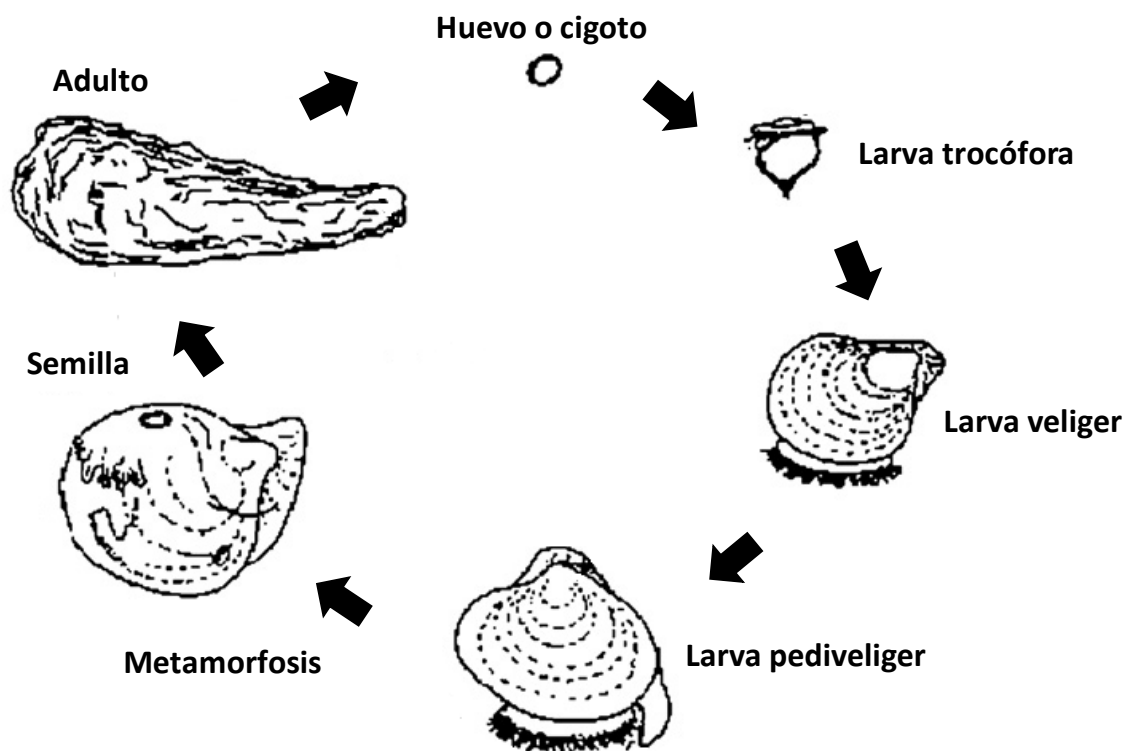
El ostión *Crassostrea gigas* también conocido como ostión japonés u ostión del Pacífico es un molusco bivalvo que pertenece a la familia Ostreidae. Se caracteriza por poseer una concha rugosa y ondulada que crece en forma de láminas. La parte externa de la concha (Figura 1A) es de color pardo, pero suele estar pigmentada con manchas y rayas púrpuras que irradian desde el umbo. La parte interna de ésta (Figura 1B), es totalmente blanca y presenta una cicatriz del músculo abductor que a veces es oscura. Estos organismos alcanzan una longitud de concha de entre 8 hasta 30 cm y se caracterizan por poseer una valva cóncava (valva inferior o izquierda) y una plana (valva superior o derecha). Las características antes mencionadas varían de acuerdo con el sustrato en que se desarrollen. Generalmente habitan en estuarios y se adhieren a sustratos firmes como rocas y conchas, pero también pueden encontrarse en sustratos arenosos y fangosos (Pauley *et al.*, 1988).



**Figura 1.** Concha de ostión *C. gigas*. (A) Parte externa e (B) interna de la concha.

El ostión, así como el resto de los bivalvos, es un organismo filtrador por medio de branquias que le sirven para la alimentación y el intercambio gaseoso, adaptado a una vida sedentaria (Campbell y Reece, 2007). Además, cuentan con una gran tolerancia a las condiciones hidrográficas y ambientales. La especie *C. gigas* se caracteriza por ser muy fecunda, la gónada puede formar al menos el 50% del volumen corporal (Quayle, 1988).

Estos organismos son hermafroditas protándricos, significa que los ostiones maduran sexualmente primero como machos y la mitad de estos maduran como hembras en el siguiente ciclo reproductivo, las condiciones ambientales pueden influir de manera importante en la determinación del sexo de estos ostiones. Su reproducción es anual y sincrónica, ocurriendo entre mayo y junio cuando la temperatura del agua se encuentra entre los 19.5 y 24 °C (Pauley *et al.*, 1988). El ciclo de vida del ostión *C. gigas* comienza con la fecundación externa, al ser expulsados los espermatozoides y los ovocitos al ambiente. Los huevos pasan por una división meiótica antes de la fecundación y da forma al cigoto, el cual en el transcurso de 24 horas pasa por una serie de transformaciones como lo son las fases multicelulares de blástula y gástrula (Zarain y Villalobos, 2012). Después de 12 horas de haberse formado la gástrula, alcanzan la primer fase larvaria llamada trocófora (Figura 2), de corta duración, donde la larva solo posee una valva y por consecuencia es muy delicada. Además, es natatoria y se nutre de las reservas vitelinas, lo que significa que no consumen alimento. Conforme avanza el desarrollo, la larva se transforma en larva veliger también conocida como larva "D". A diferencia de la trocófora la larva veliger ya cuenta con dos valvas en forma de "D" que protegen todo su cuerpo (Galtsoff, 1964).



**Figura 2.** Ciclo de vida del ostión *C. gigas* (Imagen modificada de Tirapé *et al.*, 2007).

En dicha fase las larvas se encuentran nadando en la columna de agua de donde toman partículas de fitoplancton para alimentarse. Entre los 19-21 días de desarrollo alcanzan la fase larvaria que se conoce como pediveliger y se caracteriza por la presencia del pie que es un órgano que sirve para revisar el sustrato (Helm *et al.*, 2006). Cuando esta localiza el sustrato adecuado lleva a cabo el proceso de metamorfosis, que implica la transición de larva a juvenil (semilla). Este proceso involucra una serie de cambios morfológicos como la reabsorción del velo y el desarrollo de branquias (Pauley *et al.*, 1988). También, cambia su vida natatoria y plantónica para empezar a llevar una existencia sedentaria y bentónica durante toda su etapa adulta (Helm *et al.*, 2006).

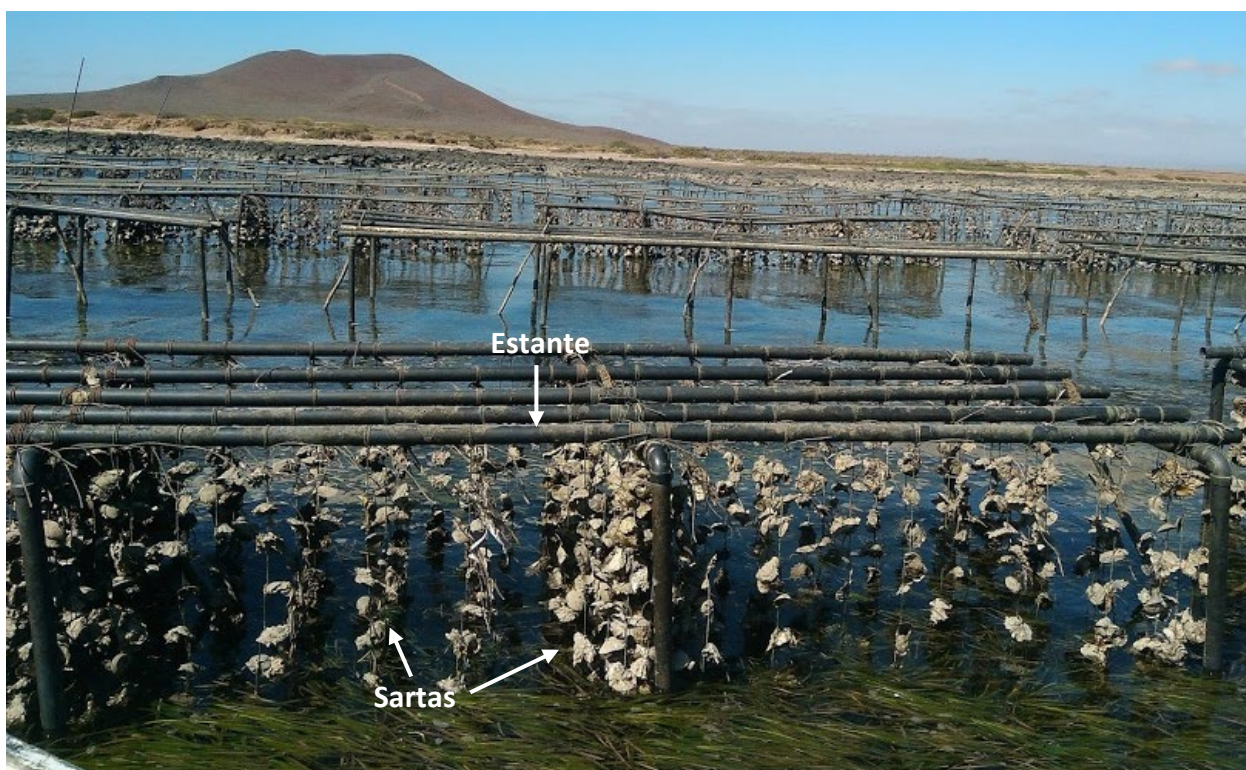
## **1.2 Importancia económica y cultivo del ostión *Crassostrea gigas***

La producción acuícola mundial de moluscos bivalvos en 2016 fue de 17.1 millones de toneladas, las cuales representan un valor de 29, 200 millones de dólares. Esta producción está compuesta por 109 especies de moluscos bivalvos, de las cuales los ostiones del género *Crassostrea* representan el 28% de la producción total, y de esta, la especie *C. gigas* aportó el 3% (FAO, 2018). En México, el ostión *C. gigas* es una de las especies acuícolas que más se cultiva (Chávez-Villalba, 2014) y se lleva a cabo en los estados de Sinaloa, Sonora, Baja California Sur y Baja California, siendo este último el principal productor (DOF, 2012). En 2017 el cultivo de *C. gigas* aportó el 27.79% de la producción total acuícola de Baja California, lo cual representó 59.60 millones de pesos (SEPESCA, 2018).

El ostión *C. gigas* no se distribuye de manera natural en las costas de Baja California ya que es originario de las costas de Japón, China y Corea. Se introdujo en México en 1973 para realizar un cultivo piloto en Bahía San Quintín, Baja California, dirigido por investigadores del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Lo anterior, con el objetivo de implementar la acuicultura en el estado, disminuir la sobrepesca de los recursos naturales y diversificar las actividades del sector cooperativista (Islas-Olivares, 1975). Debido a los resultados exitosos obtenidos en el cultivo piloto de esta especie, en 1977 se inició como cultivo comercial y en la década de los 80's se constituyó la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Bahía Falsa, S.C.L., la cual fue pionera en la ostricultura de Baja California (Tapia-Vázquez *et al.*, 2008). Actualmente la producción en Bahía San Quintín ronda las 1,700 ton anuales.



El primer sistema de cultivo utilizado en Bahía San Quintín, fue el de suspensión por medio de sartas (Islas-Olivares, 1975). Este arte de cultivo sigue siendo vigente y consta de 4 etapas: en la primera etapa se realiza la fijación de la larva del ostión en un sustrato calcáreo comúnmente llamado concha madre, para lo cual se utilizan conchas de ostión, almeja catarina o almeja voladora de entre 10 y 12 cm de longitud aproximadamente. Las conchas son perforadas en el centro y se atan a una cuerda de polipropileno de 3 mm con una separación de 10 cm entre cada una. Se utilizan entre 6 y 7 conchas por sarta y se forman manojos de 10 sartas (Tapia-Vázquez *et al.*, 2008). Una vez fijada la larva en las sartas (talla promedio de 30 mm), las sartas son trasladadas a balsas, que son estructuras flotantes. Aquí los organismos pasan alrededor de 3 a 4 semanas y es considerada como la segunda etapa o pre-engorda. Seguido de esto, se realiza la engorda de los ostiones, para lo cual, las sartas son transferidas a estantes o racas de madera o de tubería ABS que se colocan sobre el suelo en aguas someras (Figura 3). Estas permanecen suspendidas sobre los estantes entre 10 y 14 meses (tercera etapa) hasta que se realiza la cosecha de los organismos (cuarta etapa) donde son separados y lavados manualmente o con agua a presión para su venta (CESAIBC, 2013; Chávez-Villalba, 2014).



**Figura 3.** Sistema de cultivo en sartas utilizado en Bahía San Quintín para el cultivo del ostión *C. gigas*.

Puede existir una quinta etapa conocida como endurecimiento y esta se lleva a cabo cuando los ostiones alcanzan la talla comercial (mayor de 8 cm de largo). Los organismos son colocados en distintas estructuras sobre la zona intermareal para ser expuestos al movimiento de las mareas y el aire, provocando el endurecimiento de la concha y la pérdida de los bordes afilados. Actualmente, se han introducido modificaciones y se han adoptado nuevos sistemas de cultivo como resultado de mejoras tecnológicas en otras regiones del mundo. Dentro de los más utilizados se encuentran las balsas, estantes, cajas ostrícolas, costales y más recientemente, el uso de canastas australianas (CESAIBC, 2013; Chávez-Villalba, 2014;).

A lo largo de su cultivo, los ostricultores de Bahía San Quintín han reportado la presencia de alteraciones en la concha, tales como ampollas de lodo que afectan a su producto. Esto ha motivado la realización de algunos estudios y se han sugerido medidas para su control (Cáceres-Martínez *et al.*, 1998; Cáceres-Martínez y Vásquez-Yeomans, 2013, 2014.) Sin embargo, este problema parece haberse incrementado en los últimos años y los productores se encuentran preocupados por la presencia de dichas alteraciones, ya que afecta las características organolépticas del producto y disminuye su valor en el mercado. Es conocido que dichas alteraciones son provocadas por gusanos perforadores, pertenecientes al complejo-*Polydora* o polidóridos que se mencionarán a continuación.

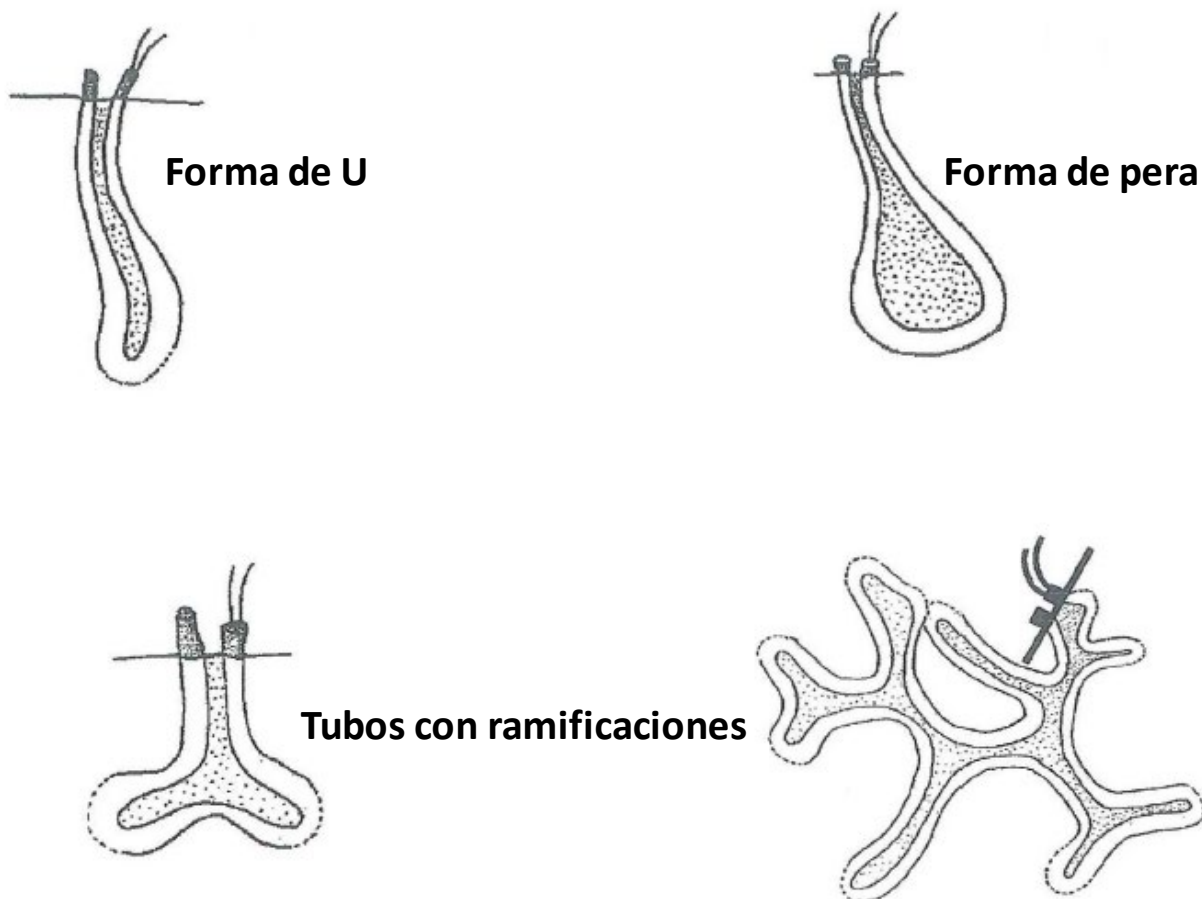
### **1.3 Poliquetos del Complejo-*Polydora***

Los poliquetos son invertebrados que pertenecen al filo Annelida y son conocidos comúnmente como gusanos segmentados. Una de las características principales que distinguen a estos organismos es la acentuada diferenciación de alguno de sus segmentos o metámeros. Además, estos cuentan con apéndices pares llamados parapodios y poseen estructuras en forma de pelo o cerdas (Hickman *et al.*, 2016). Los poliquetos son cosmopolitas pues se encuentran en la mayor parte de los hábitats marinos, aunque la mayoría son bentónicos existen algunas especies plantónicas. Presentan diversas formas de vida, algunos son móviles y otros sedentarios, también hay poliquetos detritívoros, carnívoros y herbívoros. Por otro lado, están las especies errantes y sedentarias, las que viven en tubos de lodo o sedimento, algunos se asientan sobre sustratos calcáreos, incluyendo conchas de moluscos bivalvos y gasterópodos, son sésiles y utilizan sus apéndices alimentarios para captar alimento del área circundante o para filtrar el alimento del agua (Fauchald y Jumars, 1979; Glasby y Timm, 2008).

Los poliquetos del género *Polydora*, *Boccardia* y *Pseudopolydora* forman parte del Complejo-*Polydora*, también conocidos como polidóridos. Estos, pertenecen a la familia Spionidae y se caracterizan por presentar el quinto segmento (setígero) modificado con setas especializadas que facilitan la perforación de sustratos calcáreos como lo son las conchas de los moluscos (Blake, 1969; Blake y Evans, 1973). Las larvas de *Polydora* se asientan sobre la concha y empiezan a formar un tubo a base de materia orgánica del detritus captado del ambiente externo, cementado con mucus secretado por el gusano (Zottolli y Carriker 1974). Cuando el organismo consigue que el tubo lo cubra por completo, prosigue a excavar la concha, con la ayuda de una sustancia viscosa secretada (posiblemente enzimas como la fosfatasa ácida, anhidrasas carbónicas o proteasas). Por lo tanto, el orificio es el resultado de una disolución química de la concha, así como de la expulsión de los restos de concha por medio de las setas especializadas y los palpos del poliqueto (Lauckner, 1983).

El tipo de perforaciones que causan estos poliquetos puede variar dependiendo de la especie (Figura 4). Entre las más comunes son canales en forma de “U” o de pera, canales ramificados y depresiones poco profundas también conocidas como ampollas de lodo (Blake y Evans, 1973). Los canales o tubos cuentan con dos orificios que conectan con el exterior, los poliquetos que viven ahí dentro utilizan estos orificios para estar en contacto con el ambiente externo y poder alimentarse, pues captan partículas del plancton a través de sus palpos ciliados (Fauchald y Jumars, 1979).

Blake y Evans (1973) mencionan que además del asentamiento y perforación de las conchas de moluscos bivalvos y gasterópodos, los polidóridos pueden ingresar a ellos reptando entre el manto y la cara interna de la concha. Ambas rutas de infestación pueden inducir la formación de las características ampollas de lodo, que se generan como resultado del mecanismo de defensa del ostión, ya que este a través de los amebocitos del manto, secreta capas de conquiolina y calcita para aislar al gusano y, en su caso, cubrir la perforación (Handley y Bergquist, 1997). La propia acción del gusano favorece la acumulación de materia orgánica o lodo dentro de la perforación o la ampolla, lo que le confiere esa apariencia y olor desagradable (metabolitos anaerobios de sulfato de hidrógeno) en caso de romperse cuando se consume, ocasionando una disminución de su valor comercial (Handley, 1995). Los polidóridos pueden causar infestaciones severas en los moluscos, las cuales se ven propiciadas por ambientes ricos en plancton y materia orgánica pues existe el alimento necesario para que el poliqueto pueda sobrevivir (Almeida *et al.*, 1996; Glasby *et al.*, 2000).



**Figura 4.** Tipos de perforaciones que pueden causar los poliquetos del género *Polydora* sobre la concha de moluscos (Modificado de Blake y Evans, 1973).

La infestación de *Polydora* sp. representa un impacto negativo para los moluscos en el medio natural, así como para los de acuicultura (Lauckner, 1983; Radashevsky *et al.*, 2006). Se ha observado que los moluscos con altas intensidades de infestación por estos poliquetos presentan un pobre desarrollo, pues el daño en la concha reduce su tasa de crecimiento e incrementa su mortalidad (Bergman *et al.*, 1982; Silina, 2006; Silina y Zhukova, 2009). Además, en estos casos la acumulación de materia orgánica dentro de las ampollas es alta, lo cual propicia la colonización de bacterias oportunistas causando una infección bacteriana en los tejidos afectados (Cáceres-Martínez y Vásquez-Yeomans, 2014; Cáceres-Martínez *et al.*, 2016). Es debido a lo anterior, que algunos autores consideran a los polidóridos como un verdadero parásito (Handley, 1998; Chambon *et al.*, 2007; Martinelli *et al.*, 2020). Sin embargo, en otros estudios se ha encontrado que estos gusanos no causan un daño severo en su hospedero, por lo cual lo catalogan como un comensal, ya que solo utiliza la concha de su hospedero como un sustrato en donde habitar sin depender metabólicamente de él (Russell, 1967; Handley y Bergquist, 1997; Cáceres-Martínez, 2011), tomando su alimento del medio exterior (Fauchald y Jumars, 1979). Handley (1998) menciona que la confusión que

existe sobre la relación simbiótica entre los polidóridos y sus hospederos, se debe a que no se ha evaluado de manera apropiada el impacto que estos causan. Lucas y Beninger (1985) recomiendan utilizar índices ecofisiológicos para determinar la salud de un organismo en relación con condiciones ambientales. Los que más se utilizan para medir los efectos fisiológicos que causan los polidóridos son los índices de condición estáticos, los cuales determinan la salud del hospedero en un momento determinado. Uno de los más recomendados es el índice de condición seco, el cual expresa la proporción de materia seca en todo el tejido y la proporción de agua. Así mismo, puede usarse para el balance energético de un organismo y se recomienda en acuicultura por ser uno de los métodos más precisos (Hickman e Illingworth, 1980).

#### **1.4 Casos de infestación por polidóridos en moluscos de importancia comercial**

Los poliquetos del Complejo-*Polydora* han causado un gran número de infestaciones en varias especies de moluscos alrededor del mundo. Distintos autores han reportado la presencia de diversas especies de polidóridos en moluscos gasterópodos y bivalvos de importancia comercial. Por ejemplo, el cultivo de abulón *Haliotis discus hannai* se ha visto afectado por la infestación de *Polydora uncinata* en Japón (Sato-Okshi y Abe, 2012) y Chile, donde se ha reportado hasta 98.8% de prevalencia en organismos de 33-70 mm de longitud (Radashevsky y Olivares, 2005). En México, el cultivo de abulón rojo *Haliotis rufescens* también ha sido afectado por este tipo de gusanos. En este caso, se identificó al poliqueto *Boccardia proboscidea*, el cual causó reducción y oscurecimiento del manto y del pie, así como una acumulación de materia orgánica oscura y desagradable en la cara interna de la concha. Además, en dicho estudio se comprobó que las ampollas causadas por este poliqueto son propensas a la colonización por bacterias con potencial patógeno, como *Vibrio splendidus* (Cáceres-Martínez *et al.*, 2016). Los poliquetos del género *Polydora* también ha causado impactos negativos en otros moluscos bivalvos como las escalopas y almejas. Se ha encontrado la presencia de *Polydora brevipalpa* en la ostra *Patinopecten yessoensis* cultivada en Japón (Sato-Okshi y Abe, 2012). En Italia, se registró por primera ocasión la infestación de *Polydora ciliata* en la almeja manila *Tapes philippinarum*, dando como resultado una concha débil y un efecto negativo en la comercialización del producto (Boscolo y Giovanardi, 2002). En México, la almeja *Chione fluctifraga* proveniente de Bahía San Quintín, B.C. y Sonora, también se ha visto afectada por poliquetos del género *Polydora*. Las conchas de las almejas infestadas presentaban canales en forma de U, lo cual ocasionó una concha porosa y quebradiza.

En este caso no se logró identificar la especie del poliqueto. Sin embargo, los autores mencionan que podría tratarse de una especie nueva que aún no ha sido descrita (Cáceres-Martínez *et al.*, 1999). En cuanto a infestaciones del ostión *C. gigas*, varios autores han reportado la presencia de polidóridos alrededor del mundo. Por ejemplo, en Nueva Zelanda se identificó a *Polydora websteri* y *Polydora hoplura* en ostiones silvestres y de cultivo, el 68.3% y el 90 % de estos respectivamente, contenían ampollas de lodo en la cara interna de la concha. Estas se caracterizaron por poseer una delgada capa de conquiolina color café verdoso que a su vez se encontraba cubierta por una frágil capa calcárea y ambas recubrían a los poliquetos y sus depósitos de lodo. En este estudio se evaluó el daño causado al ostión con el índice de condición seco. Sin embargo, la infestación por estos poliquetos no presentó un efecto significativo sobre el índice de condición seco, ni se obtuvo una correlación significativa con la cantidad de infestaciones causadas por estos poliquetos. Por lo cual recomiendan realizar estudios adicionales sobre el efecto de las infestaciones y los índices de condición estáticos (Handley y Bergquist, 1997).

Los cultivos de *C. gigas* en Nueva Zelanda han sido afectados por el polidórido *Boccardia knoxi*. Este causó la formación de ampollas en la cara interna de la concha, tanto de reciente formación que presentaban una delgada capa de conquiolina como ampollas más antiguas cubiertas por una gruesa capa calcárea. La mayoría de estas fueron transparentes y no contenían lodo en su interior (Handley, 1995). Años más tarde, Handley (1998) analizó ostiones de los mismos cultivos y evaluó el daño causado por este gusano a través de varios índices ecofisiológicos. Por medio del índice de condición seco detectó valores más bajos en organismos con ampollas en la concha. Además, determinó una correlación significativa entre la calidad de la concha y el índice de condición. En China, específicamente en el Lago de los Cisnes, se identificó a *Polydora onagawaensis* en el ostión silvestre *C. gigas*. Los poliquetos cavaron pequeños canales en forma de U y se llegaron a encontrar hasta 23 gusanos por ostión; en este caso, la infestación no causó daños severos, tan solo unos pocos depósitos de lodo cubiertos por secreciones de la concha del hospedero (Sato-Okoshi *et al.*, 2013). La presencia de poliquetos del Complejo-*Polydora* infestando al ostión *C. gigas* también se ha registrado en Sudáfrica (Nel *et al.*, 1996), Francia (Royer *et al.*, 2006), Australia y Japón (Sato-Okoshi y Abe, 2012).

En el caso particular de México solo se ha realizado el estudio de Cáceres-Martínez *et al.* (1998) mencionado anteriormente, en el que se analizaron organismos provenientes de Bahía San Quintín, en dos sitios del brazo oeste o Bahía Falsa.

Los ostiones estudiados se recolectaron al azar de las sartas de cultivo. Entre los resultados se encontró que los poliquetos formaron canales en forma de U y generalmente se encontraban habitados por un solo gusano. También se observaron ampollas de lodo. En ambos sitios se registraron prevalencias de hasta el 100 % y la cantidad máxima de gusanos encontrados por ostión fue de seis. Además, las infestaciones más graves se registraron en los ostiones que se encontraban en la parte baja de la sarta ya que esta área es la que se encuentra cerca del sustrato y siempre está cubierta por agua independientemente de los cambios de la marea. Los autores sugirieron que los cultivos en racas deben realizarse en lugares donde los ostiones queden totalmente expuestos al aire y el sol durante la marea baja, ya que los organismos analizados que estuvieron bajo estas condiciones presentaron las prevalencias más bajas (Cáceres-Martínez *et al.*, 1998).

## Capítulo 2. Justificación, hipótesis y objetivos

---

### 2.1 Justificación

En Bahía San Quintín, el cultivo de ostión *C. gigas* es una actividad comercial de gran importancia para la región ya que es una fuente de empleo y alimento. Sin embargo, productores de ostión han observado un incremento en la presencia de ampollas de lodo en el interior de las conchas de *C. gigas*, lo que indica un posible incremento en la presencia, prevalencia, intensidad y distribución en la bahía de polidóridos, con respecto a lo encontrado en años anteriores (Cáceres-Martínez *et al.*, 1998). Esto, representa un riesgo para esta actividad ya que puede afectar el desarrollo de los organismos y producir una apariencia desagradable en estos, lo cual afecta la comercialización del producto y por lo tanto a la economía de los productores de esta región.

Debido a lo anterior, es necesario recabar información que permita conocer el estado actual de los cultivos de ostión en la bahía con respecto a la presencia, prevalencia, intensidad y distribución de polidóridos. Así mismo, es necesario analizar el efecto causado al ostión como daños en la concha, estimar el índice de condición y determinar si hay bacterias con potencial patógeno asociadas a las lesiones en la concha. Esta información contribuirá a fortalecer las medidas de diagnóstico, prevención y control de las infestaciones por este poliqueto en Bahía San Quintín.

### 2.2 Hipótesis

- Los poliquetos presentes en los ostiones estudiados en Bahía San Quintín, pertenecen a la familia Spionidae y forman parte del Complejo-*Polydora*.
- La prevalencia e intensidad de infestación de los gusanos polidóridos variará en función de la localización de los cultivos y la estacionalidad.
- La presencia y cobertura de las ampollas y canales asociados con polidóridos estarán relacionados con alteraciones en el índice de condición del hospedero.
- Los daños en la concha estarán asociados a la presencia de bacterias con potencial patógeno.



### 2.3 Objetivo general

Determinar la presencia, abundancia, distribución y efecto de polidóridos en el ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín y si hay una asociación de las lesiones con bacterias potencialmente patógenas.

### 2.4 Objetivos particulares

- Identificar, por taxonomía convencional a los poliquetos encontrados en el ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín.
- Determinar la prevalencia e intensidad de polidóridos en el ostión *C. gigas* mediante análisis en fresco.
- Establecer si los ostiones *C. gigas* cultivados en distintos puntos de Bahía San Quintín presentan diferencias en la infestación de polidóridos.
- Establecer si la presencia de polidóridos en *C. gigas* muestra variaciones mensuales durante el periodo de estudio.
- Determinar si la intensidad de la infestación y el daño en la concha están asociadas con el índice de condición de *C. gigas*.
- Determinar si existen bacterias con potencial patógeno asociadas a las ampollas presentes en *C. gigas* mediante análisis bacteriológico.

## Capítulo 3. Metodología

---

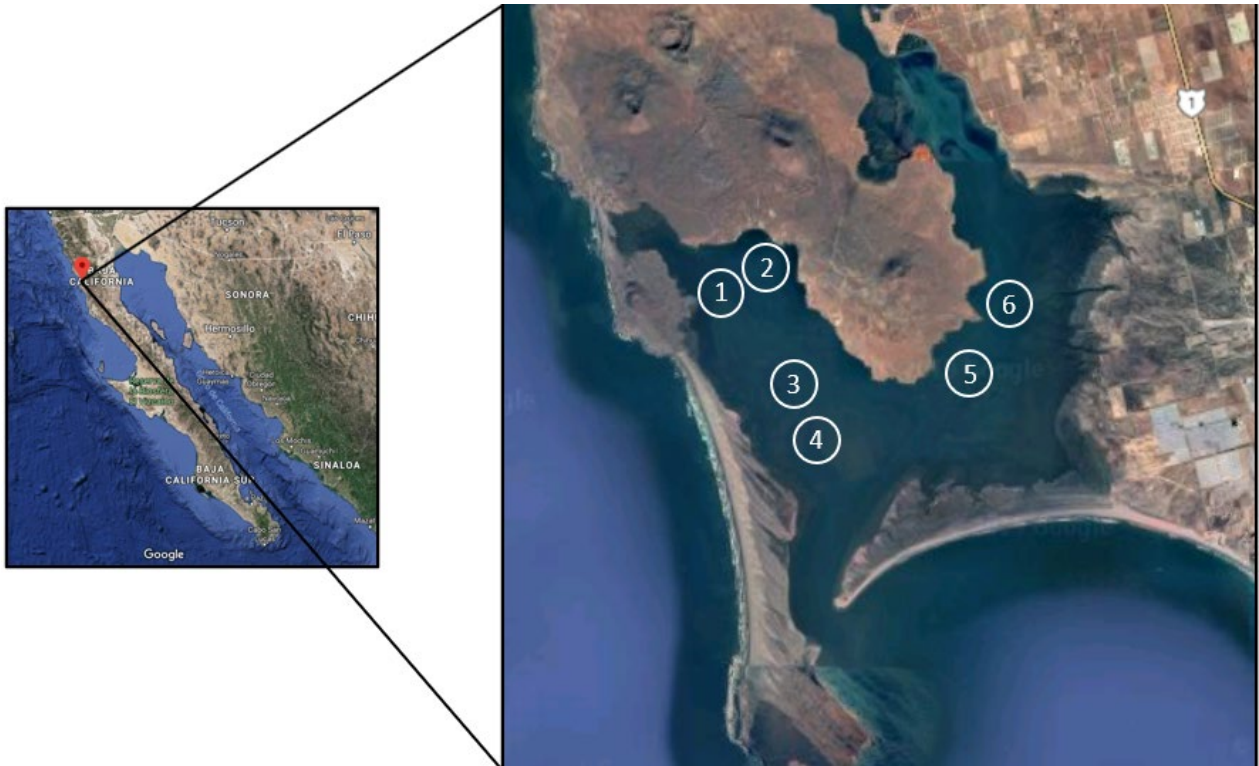
### 3.1 Características del sitio de estudio

Bahía San Quintín (Figura 5) es una laguna costera de aproximadamente 42 km<sup>2</sup> de superficie y se ubica en la costa oeste de Baja California, México (30 ° 24' y 30 ° 30' de latitud N y los 115 ° 57' y 116 ° 01' de longitud O). Esta laguna, se conforma de dos brazos que son Bahía Falsa hacia el oeste y Bahía San Quintín hacia el este, con una longitud de 5.6 y 11.5 km respectivamente. Presenta una sola boca en donde ocurre la comunicación al mar. La profundidad promedio de la bahía es de 2 m a excepción de los canales de navegación en donde se alcanzan hasta los 13 m cerca de la boca (Cabello-Pasini *et al.*, 2004). Bahía San Quintín presenta un clima semi-árido y una variabilidad anual en la temperatura superficial del agua entre 11-25 °C en la boca y 13-27 °C en la zona más interna de los brazos (Álvarez-Borrego y Álvarez-Borrego, 1982). Sus mareas son semidiurnas con rangos de 2.5 m en mareas vivas y 1 m en mareas muertas (Ocampo-Torres, 1980; Durazo *et al.*, 2005). Esta bahía tiene alta productividad y es de importancia económica, en ella se lleva a cabo la principal producción acuícola del ostión japonés *C. gigas* (Chávez-de-Nishikawa y Álvarez-Borrego, 1974).

### 3.2 Descripción del muestreo

De acuerdo con la ubicación de empresas acuícolas de Bahía San Quintín, del interés de los productores por participar en el proyecto y acorde con el Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Baja California (CESAIBC) se establecieron 6 sitios de muestreo (Figura 5). Cada sitio pertenece a una empresa distinta que son Sesma (1), Brisa Marina (2), Acuícola San Quintín (3), Litoral (4), Cristóbal Murillo (5) y Acuícola Chapala (6). En estos puntos, se realizaron muestreos mensuales durante un período de 6 meses, los cuales iniciaron en agosto de 2019 y terminaron en enero de 2020.

Previo acuerdo e instrucciones de muestreo, en cada punto, los responsables de las empresas seleccionadas se encargaron de recolectar de manera aleatoria 30 ostiones adultos ( $n=30$ ) de talla comercial ( $8.38 \pm 0.24$  cm de longitud) provenientes de cultivos en sartas. Los organismos proporcionados fueron colocados en bolsas de plástico y se etiquetaron indicando el sitio de muestreo y la fecha. Fueron transportados para su análisis en hieleras con gel-ice al Laboratorio de Biología y Patología de Organismos Acuáticos del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).



**Figura 5.** Mapa de Bahía San Quintín Baja California, México. Se observan los seis puntos de muestreo definidos con los productores de ostión *C. gigas* y el CESAIBC, que abarcan los dos brazos de la bahía y corresponde a la zona interna (1, 2); zona media y externa del brazo oeste (3, 4) y zona media del brazo este (5, 6).

### 3.3 Análisis en fresco de los organismos

Los ostiones vivos fueron lavados con un cepillo y agua corriente para eliminar el exceso de epibiontes y materia orgánica. Una vez limpios se midieron y obtuvieron los siguientes datos morfométricos: longitud de concha (del umbo al borde más externo), peso total vivo, peso de la carne y peso de la concha. La longitud se tomó con un vernier y los diferentes pesos con una balanza digital (Ohaus, modelo Scout Pro). Antes de continuar con el análisis en fresco de las conchas, el cuerpo blando de cada uno de los organismos fue apartado de manera individual y colocado en navecillas de aluminio (previamente etiquetadas); los tejidos se dejaron secar en una estufa (Precision Scientific Co, modelo 4) a 75 °C hasta obtener un peso seco constante (balanza analítica And).

Estos datos fueron utilizados para determinar el índice de condición de los ostiones propuesto por Hickman e Illingworth (1980) y se calcula con la siguiente fórmula:

$$IC (\%) = \frac{Ps}{Pt - Pc} (100)$$

Donde:

IC: Índice de condición

Ps: Peso seco del tejido

Pt: Peso total

Pc: Peso concha

Las conchas de los ostiones se etiquetaron con el nombre de la empresa, fecha de muestreo y número de ostión, utilizando un marcador permanente. Posteriormente, con el uso de una cámara digital se tomó una fotografía de la cara externa e interna de cada una de las conchas. Las fotografías se utilizaron para estimar el área afectada, como se describirá más adelante. Se cuantificó el número de ampollas de lodo, así como el número de canales encontrados en las valvas de cada ostión. Posteriormente, se realizó la extracción de los poliquetos mediante la fragmentación de las ampollas con un cuchillo y se extrajo el lodo usando una piseta con agua de mar filtrada y se recuperó en cajas Petri. Este procedimiento también se aplicó para extraer a los gusanos que se encontraban en los canales. En la mayoría de los casos fue imposible recuperarlos completos ya que al romper la concha para abrir el canal el gusano también se fragmentaba y en algunos casos, se perdía el tejido por completo. En este sentido, se consideró que un canal correspondía a un poliqueto completo.

Los poliquetos extraídos de las conchas de los ostiones examinados fueron fijados y preservados en alcohol al 70 %. Posteriormente, se observaron bajo un microscopio estereoscópico (Zeiss Discovery V8) para identificar sus características morfológicas, con ayuda de claves taxonómicas (Blake, 1996). Además, se registró el número total de poliquetos que se encontró en cada ostión, registrando el estadio de vida (larvas, adultos y en reproducción, cuando se observaron puestas de huevos).

### **3.4 Cálculo del índice de prevalencia e intensidad**

Con el fin de determinar la prevalencia de polidóridos en los ostiones cultivados en Bahía San Quintín, se utilizaron los registros de los canales observados en la concha durante el análisis en fresco, así como de los poliquetos extraídos de las ampollas. Dicho índice se calculó para cada sitio y mes de muestreo utilizando la siguiente fórmula (Cáceres-Martínez *et al.*, 1998):

$$PE (\%) = \frac{OI}{OE} (100)$$

Donde:

PE= prevalencia de polidóridos en porcentaje

OI = número de ostiones infestados

OE = número de ostiones examinados

La intensidad de la infestación causada por polidóridos se calculó a partir de los conteos de los poliquetos extraídos y de los canales observados, se determinó para cada sitio y mes de muestreo. Se utilizó la siguiente fórmula (Cáceres-Martínez *et al.*, 1999):

$$I = \frac{NP}{N}$$

Donde:

I = intensidad de la infestación

NP = número total de poliquetos en toda la muestra

N = número total de ostiones infestados en la muestra

### 3.5 Análisis bacteriológico

Con el objetivo de identificar la posible existencia de bacterias con potencial patógeno asociadas a las ampollas, se realizó un análisis bacteriológico de los ostiones obtenidos del muestreo No. 3 (octubre). Para lo anterior, se eligieron 5 ostiones que presentaron ampollas frescas. Estos ostiones se lavaron con agua de mar filtrada y esterilizada. Las ampollas se abrieron con un bisturí estéril y se introdujo un asa bacteriológica estéril con la cual se realizó un raspado del contenido de la ampolla. Este, fue inoculado mediante el método de sembrado en estría en placas que contenían medio de cultivo de Tiosulfato-Citrato-Bilis-Sacarosa (TCBS Difco™), apropiado para el desarrollo de las bacterias tipo *Vibrio*. Los cultivos se incubaron a temperatura ambiente durante 24 horas.

Una vez que se observó el primer crecimiento de colonias bacterianas se identificó y registró su color, morfología y tipo de crecimiento colonial. Con base a lo anterior, se aislaron las colonias por el método de estría cruzada en placas con medio TCBS hasta obtener un solo tipo de colonia. Posteriormente, las colonias aisladas se transfirieron a placas que contenían medio de cultivo Agar-Soya-Trypticasa (TSA

DIBICO®) al 2% de NaCl (Bergey *et al.*, 1994). Con las colonias bacterianas que crecieron en dicho medio se realizó la caracterización fenotípica y bioquímica. Se realizaron las pruebas fenotípicas convencionales como la identificación de la morfología colonial (forma, borde, superficie y color de las colonias) y la tinción de Gram utilizando el Kit de tinción de Gram Azer Scientific. Se observó la morfología de las colonias bacterianas en un microscopio compuesto (Primo Star, Zeiss) y se verificó que las bacterias pertenecieran a un solo tipo de colonia. Para la caracterización bioquímica, se realizaron las pruebas de citocromo oxidasa utilizando el reactivo N,N,N,N-tetrametil-p-fenilendiamina (Sigma-Aldrich) y catalasa con peróxido de hidrogeno al 3%.

Con el fin de conservar las cepas bacterianas, estas se transfirieron a un medio de cultivo líquido Caldo Luria Bertani (DIBICO®) y se mantuvieron en agitación durante 24 horas a temperatura ambiente. Seguido de esto, se tomaron 700 µL de cada una de las cepas y se mezclaron con 300 µL de glicerina estéril en crioviales estériles (Cryogenic Vial, CORNING®) previamente etiquetados (Sambrook y Russell, 2001). Estos, se resguardaron en una hielera con hielo seco y se transportaron al Subsistema Nacional de Recursos Genéticos Acuáticos (SUBNARGENA) en CICESE donde fueron criopreservados en nitrógeno líquido a -196 °C. Así mismo, se tomó 1 mL de cada una de las cepas y se depositaron en tubos estériles para microcentrífuga de 1.5 mL y se centrifugaron a 8000 rpm por 1 minuto. Dicho procedimiento se repitió hasta obtener un pellet, el cual se congeló a -20 °C para su posterior análisis molecular.

### 3.7 Análisis de imágenes

Para este análisis, se utilizaron las fotografías de las conchas de los ostiones tomadas durante el análisis en fresco. Lo anterior, con el fin de calcular el porcentaje del área dañada de la concha asociada con la presencia de polidóridos. Las imágenes se procesaron en el software ImageJ®, previo ajuste de la escala de pixeles a centímetros.

Posteriormente, se midió el área total de la concha y después el área de la ampolla. El porcentaje de cobertura del daño en la concha se calculó con la siguiente fórmula:

$$Cd (\%) = \frac{Aa (100)}{Ac}$$

Donde:

Cd = cobertura del daño en la concha

Aa = área de la ampolla

Ac = área total de la concha

### 3.8 Análisis estadístico

En este estudio se evaluó el efecto de los meses y sitios de muestreo (variables independientes) sobre las infestaciones de polidóridos (prevalencia, intensidad y cobertura del daño en la concha) y el índice de condición. Los datos que se encontraban en porcentaje fueron transformados con la función de raíz cuadrada de arcoseno. Seguido de esto, se evaluaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene's respectivamente. Los datos que cumplieron o no con dichos supuestos se evaluaron con pruebas paramétricas y no paramétricas, respectivamente. En todos los análisis realizados se utilizó un nivel de significancia de  $P < 0.05$ . Los datos que se presentan en resultados se expresan en promedios  $\pm$  el error estándar (EE). Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo en el programa SigmaPlot versión 12.0.

Para determinar si había diferencias en la prevalencia, intensidad, cobertura de daño e índice de condición con respecto al mes y sitio de muestreo se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía. Una prueba posteriori de Tukey fue utilizada cuando se encontraron diferencias específicas. En el caso del índice de condición y la cobertura del daño se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis seguido de la prueba posteriori de Dunn's (cuando había diferencias específicas) para detectar si había diferencias en los meses de muestreo por cada sitio analizado individualmente. Además, para comprobar si el índice de condición está asociado con la cobertura del daño, así como con la prevalencia; se realizó una correlación lineal para obtener el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) entre estas variables. Aunado a esto, se comparó el porcentaje de la cobertura del daño entre la valva izquierda y derecha del ostión utilizando la prueba no paramétrica de Wilcoxon.

## Capítulo 4. Resultados

---

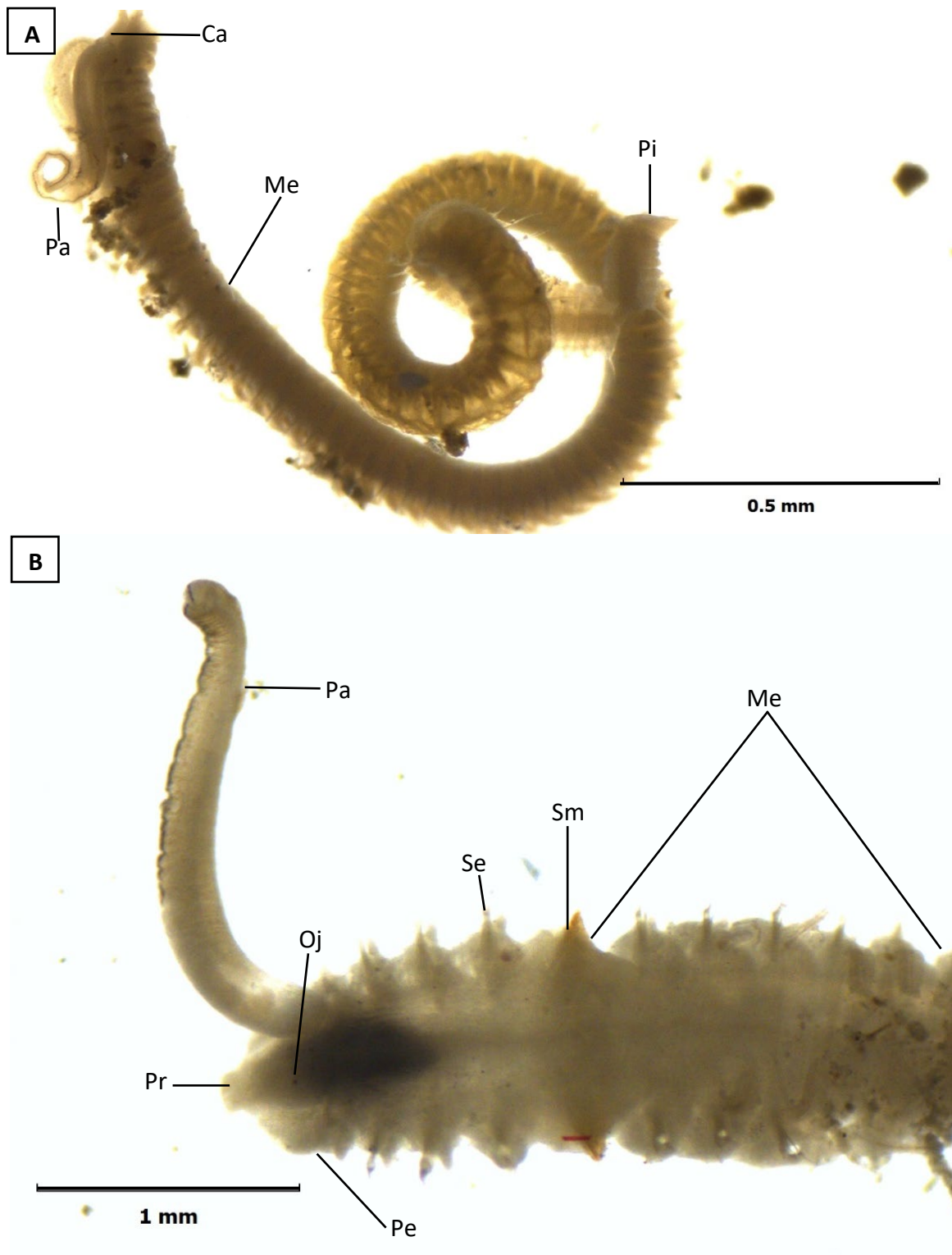
### 4.1 Identificación taxonómica de los poliquetos encontrados en el ostión *C. gigas*

Dentro de las ampollas y canales se encontraron poliquetos adultos (Figura 6), que al extraerlos de sus refugios se encontraban envueltos en un tubo de lodo que los recubría por completo. Además, presentaron una coloración rojiza, misma que cambió a amarillo pálido cuando fueron fijados en alcohol.

Los poliquetos encontrados se caracterizaron por presentar un cuerpo alargado, subcilíndrico y segmentado (Figura 6A). El área cefálica del poliqueto se encontró bien diferenciada del resto del cuerpo, presentó una forma ovalada con una terminación en forma de cuña (Figura 6B). Además, estaba bien diferenciada, mostrando un par de palpos dorsales, el prostomio (región presegmental), peristomio (primer segmento) y un par de ojos, que no estuvieron presentes en todos los gusanos. Seguido del área cefálica, se encuentra el metastomio o parte media del cuerpo (Figura 6B) y al final el último segmento que corresponde al pigidio. En este último se encuentra el ano, el cual presentó forma de copa (Figura 7). Además, todos los segmentos del cuerpo presentaron setas y el quinto setífero modificado, el cual es característico de la familia Spionidae, específicamente de los poliquetos del Complejo-*Polydora*, por lo cual en este trabajo los poliquetos encontrados en el ostión *C. gigas* fueron denominados polidóridos, ya que se identificaron hasta nivel familia. Se cuenta con muestras almacenadas para su identificación a especie mediante un análisis molecular, cuando lo permita la pandemia.

Entre los poliquetos adultos encontrados, se observaron organismos con una pigmentación distintiva en el área de los palpos. Algunos palpos tenían barras negras transversales (Figura 8A) y otros se caracterizaron por una pigmentación café oscura a lo largo de todo su perímetro (Figura 8B). No obstante, la mayoría de los gusanos perdían sus palpos al extraerlos de las ampollas y canales, pues con estos se sujetaban al sustrato. En algunos casos, se observaron puestas de huevos dentro de las ampollas presentes en la concha del ostión. Las ampollas presentaron un saco viscoso y transparente (cápsula) que siempre se encontró adherido al interior de un tubo de lodo que envolvía al poliqueto adulto. Dentro de estas cápsulas, se observaron huevos de forma esférica y larvas en distintas etapas de desarrollo (Figura 9A). Además, dentro de las ampollas se encontraron larvas libres con actividad natatoria (Figura 9B). Cabe destacar, que los poliquetos vivos que se encontraron en etapas de reproducción presentaban una coloración amarilla intensa.





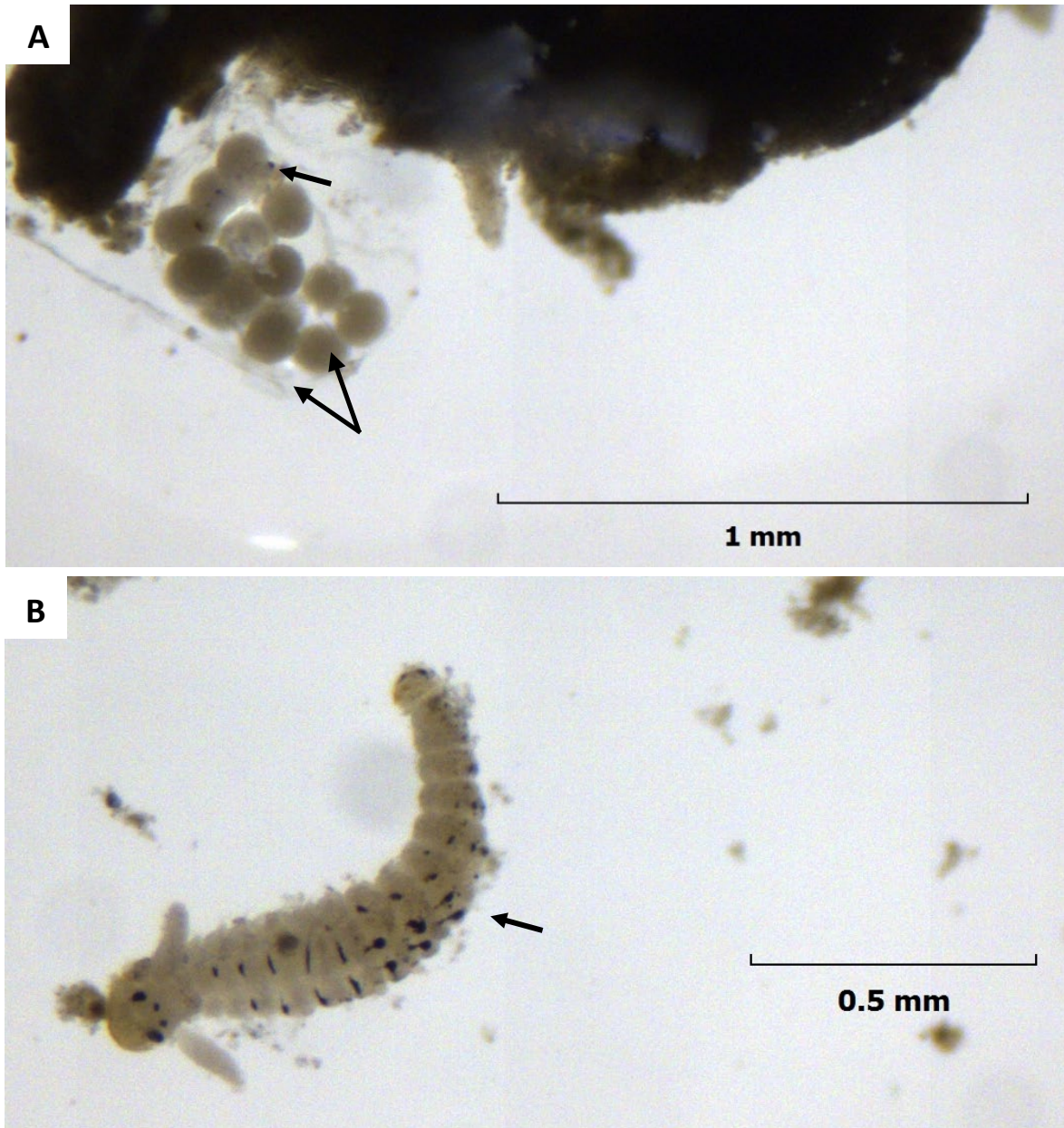
**Figura 6.** Polidóridos encontrados en el ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín. A) Cuerpo completo del gusano en donde se observa el área cefálica (Ca), los palpos (Pa), el metastomio (Me) y el pigidio (Pi). B) Parte anterior del poliqueto mostrando los Pa, el prostomio (Pr), el peristomio (Pe), los ojos (Oj), el Me, las setas (Se) y el quinto setífero modificado (Sm).



**Figura 7.** Fragmento de poliqueto mostrando la región del pigidio (flecha) en forma de copa.



**Figura 8.** Palpos de polidóridos con diferente pigmentación. A) Palpos con barras negras (Flecha). B) Palpos con el perímetro negro (Flecha).

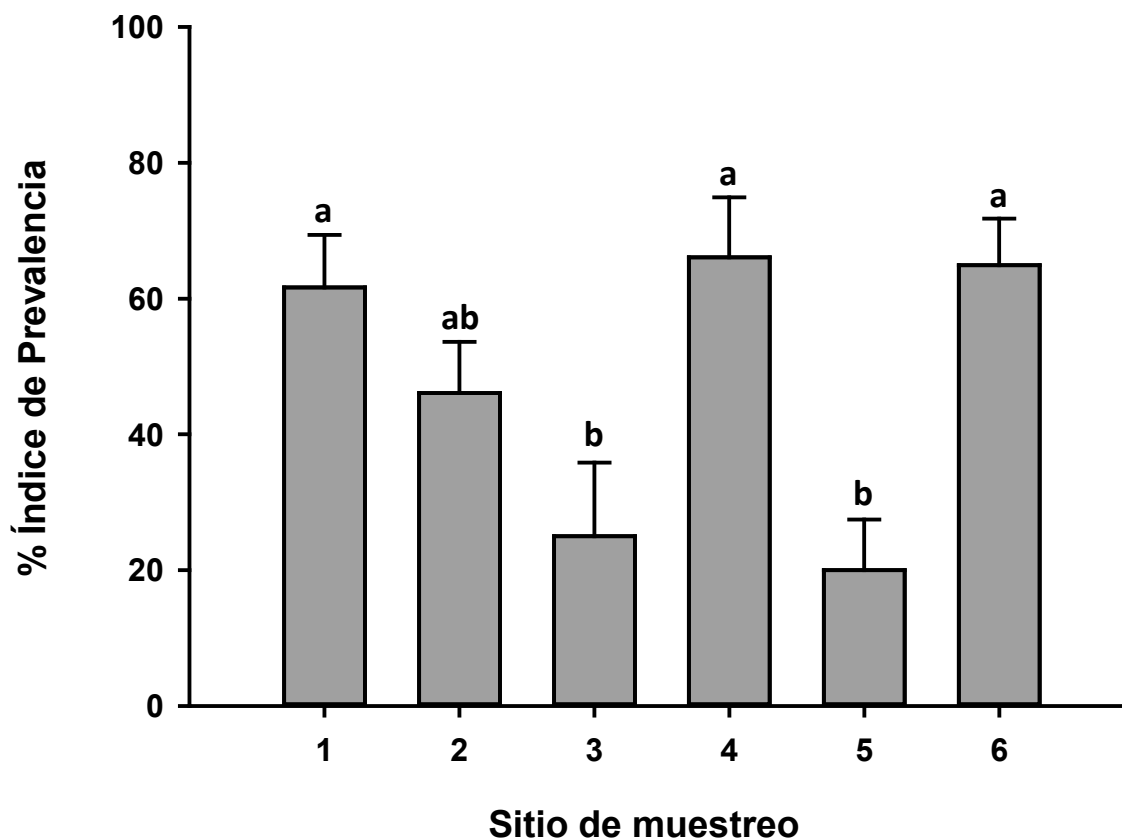


**Figura 9.** A) Puesta de huevos de polidóridos encontradas dentro de las ampollas del ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín. Se puede observar la cápsula que es un saco transparente con huevos dentro y una larva (Flecha). B) Larva natatoria de polidóridos encontrada dentro de las ampollas (Flecha).

#### 4.2 Presencia, prevalencia e intensidad de polidóridos en el ostión *C. gigas*

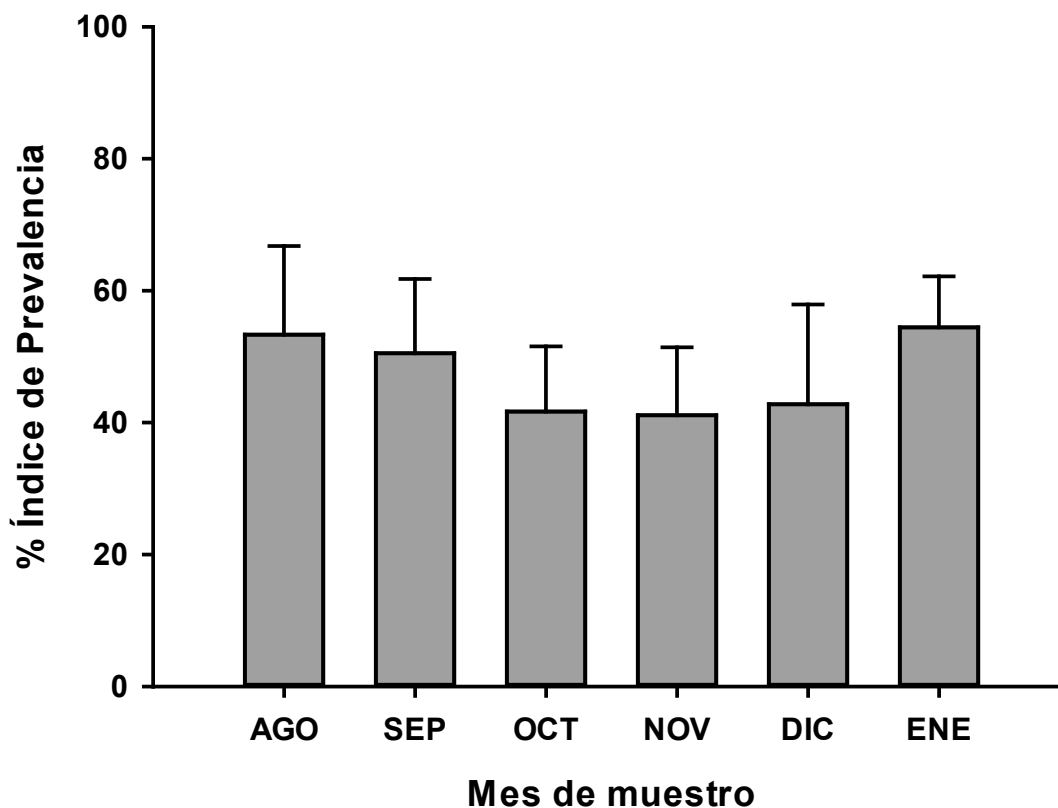
Los polidóridos se encontraron en todos los sitios de muestreo y durante todo el periodo de estudio. La comparación de la prevalencia entre los sitios de muestreo reveló diferencias altamente significativas ( $P <$

0.001). La prevalencia más alta se registró en tres de los sitios, con promedios y error estándar de  $66.11\% \pm 8.84$ ,  $64.94\% \pm 6.85$  y  $61.66\% \pm 7.73$ , para los sitios 4, 6 y 1 respectivamente (Figura 10). Estos tres sitios de cultivo presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con los sitios 5 y 3, en donde se registraron las prevalencias más bajas ( $20\% \pm 7.45$  y  $25\% \pm 10.84$  respectivamente). En contraste, el sitio dos no fue diferente del resto ( $P > 0.05$ ).



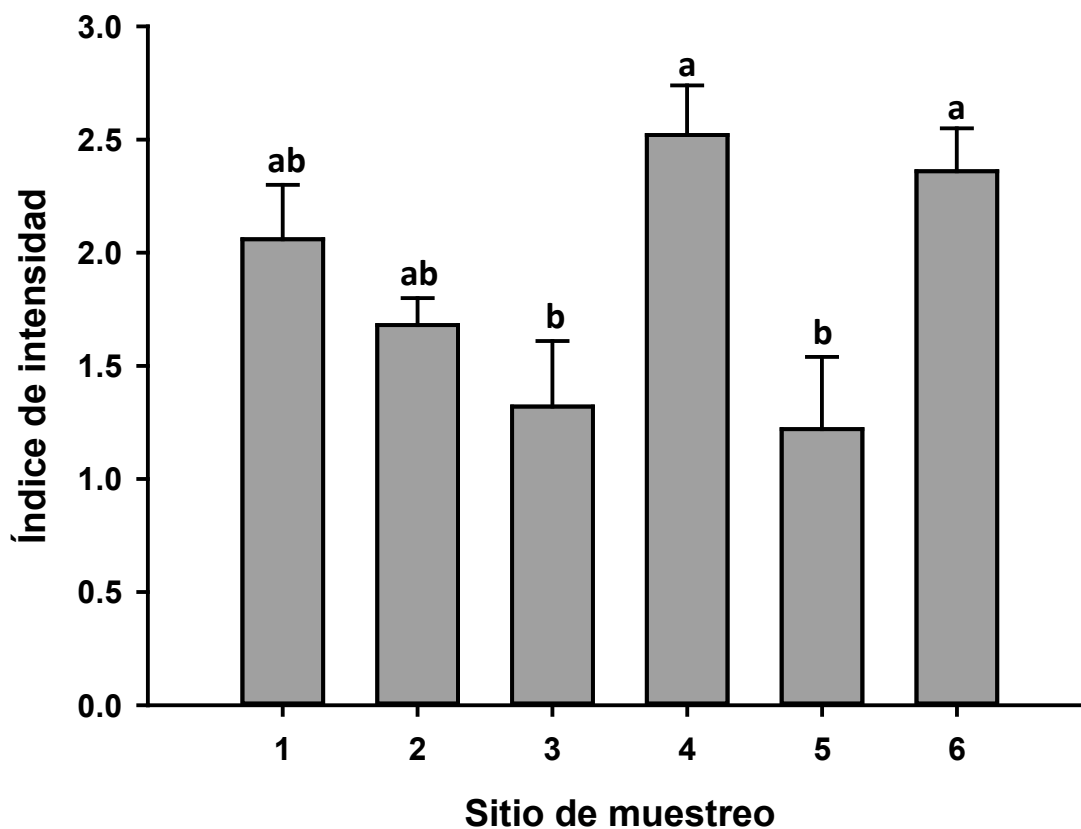
**Figura 10.** Porcentaje promedio de prevalencia de los polidóridos presentes en *C. gigas* por sitio de muestreo en Bahía San Quintín. En la parte superior se muestra el error estándar y las letras indican si hubo diferencias significativas  $P < 0.05$ .

En cuanto a la prevalencia de polidóridos por mes de muestreo combinando los datos de todos los sitios, no se observaron diferencias estadísticas (Figura 11). Los valores oscilaron entre  $41.11\% \pm 10.32$  en noviembre y  $54.44\% \pm 7.73$  en diciembre ( $P = 0.786$ ).



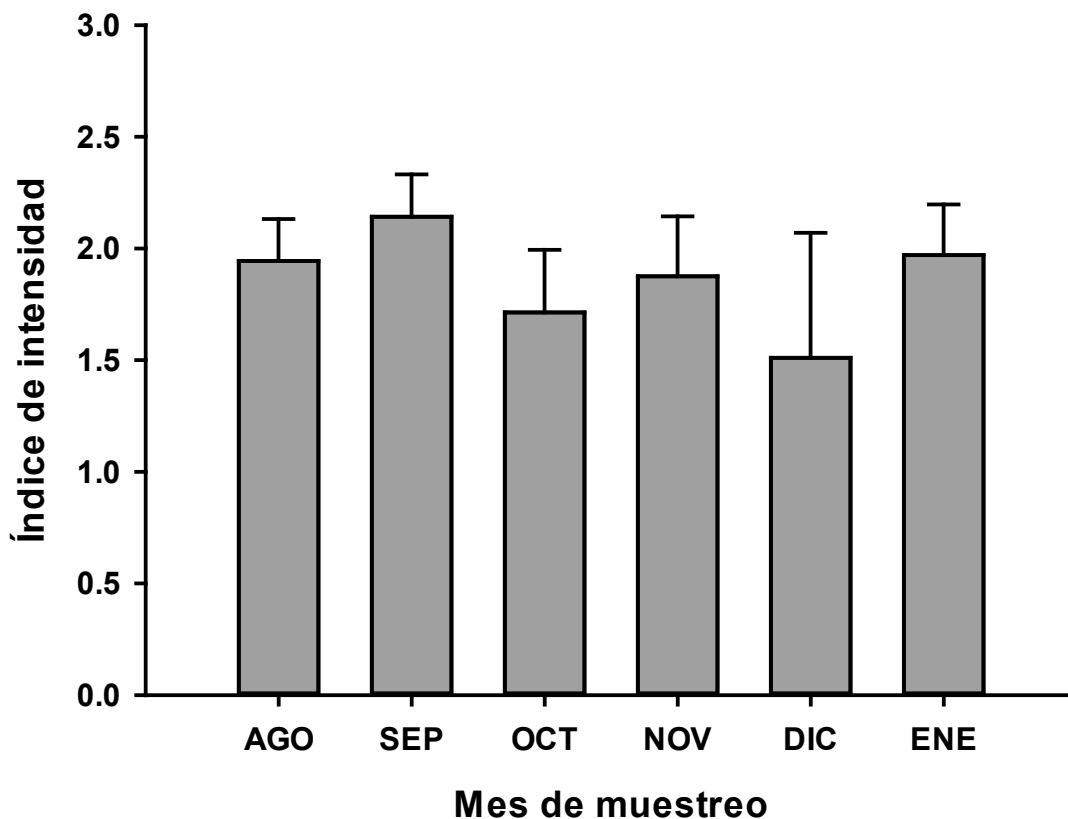
**Figura 11.** Porcentaje promedio de prevalencia de los polidóridos presentes en *C. gigas* por mes de muestro en Bahía San Quintín. En la parte superior se muestra el error estándar.

La intensidad promedio de polidóridos en el ostión *C. gigas* proveniente de cada punto de muestro en Bahía San Quintín (Figura 12) reveló diferencias significativas ( $P = 0.002$ ). El promedio más alto se registró en los sitios 4 y 6, con  $2.52 \pm 0.22$  y  $2.40 \pm 0.20$  poliquetos por ostión. Ambos, presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con el sitio 3 y 5, lugares donde se observó la intensidad más baja con  $1.32 \pm 0.29$  y  $1.22 \pm 0.32$  respectivamente. En contraste, los sitios 1 y 2 ( $2.06 \pm 0.24$  y  $1.68 \pm 0.12$ ) no presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) con ninguno de los puntos de muestro. Cabe destacar, que, si bien el número de poliquetos promedio encontrados en los ostiones estuvo entre 1 y 3 gusanos por ostión, hubo algunos ostiones que presentaron hasta 14 polidóridos.



**Figura 12.** Intensidad promedio de polidóridos en *C. gigas* por sitio de muestreo en Bahía San Quintín. En la parte superior se muestra el error estándar y las letras indican si hubo diferencias significativas  $P > 0.05$ .

La intensidad promedio de polidóridos fue similar en los diferentes meses de muestreo (Figura 13), oscilando entre  $1.51 \pm 0.56$  en diciembre y  $2.14 \pm 0.19$  en septiembre ( $P = 0.845$ ).



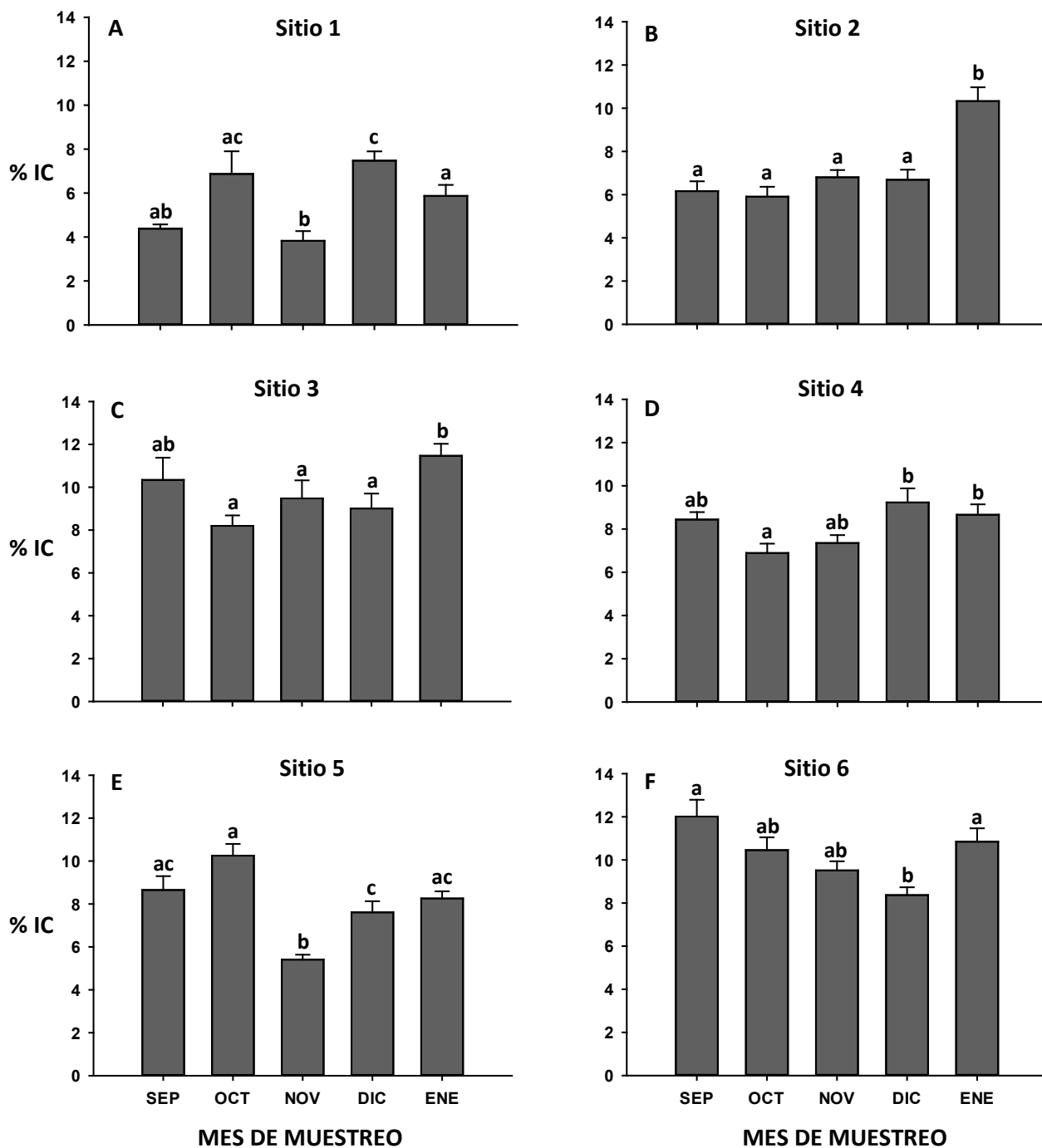
**Figura 13.** Intensidad promedio de polidóridos presentes en *C. gigas* por mes de muestreo en Bahía San Quintín. En la parte superior se muestra el error estándar.

### 4.3 Índice de condición del ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín

El IC promedio de los ostiones obtenido por mes y sitio de muestreo se presenta en la Figura 14. Las comparaciones para cada sitio de muestreo por separado mostraron diferencias significativas en todos los casos. En el sitio 1 se encontraron diferencias altamente significativas ( $P < 0.001$ ) entre el IC obtenido en cada uno de los meses de muestreo (Fig. 14 A). El IC más bajo se registró en noviembre con  $3.82 \% \pm 0.44$ , mientras que en diciembre fue el IC más alto ( $7.47 \% \pm 0.42$ ). Pero, otros meses también resultaron significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ) a excepción de octubre ( $6.87 \% \pm 1.03$ ). En el sitio 2 (Fig. 14 B), el IC más alto ( $10.32 \% \pm 0.64$ ) se observó en enero y presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con el resto de los meses. De manera similar, en el sitio 3 (Fig. 14 C) el mayor IC fue en enero ( $11.47 \% \pm 0.56$ ) y también

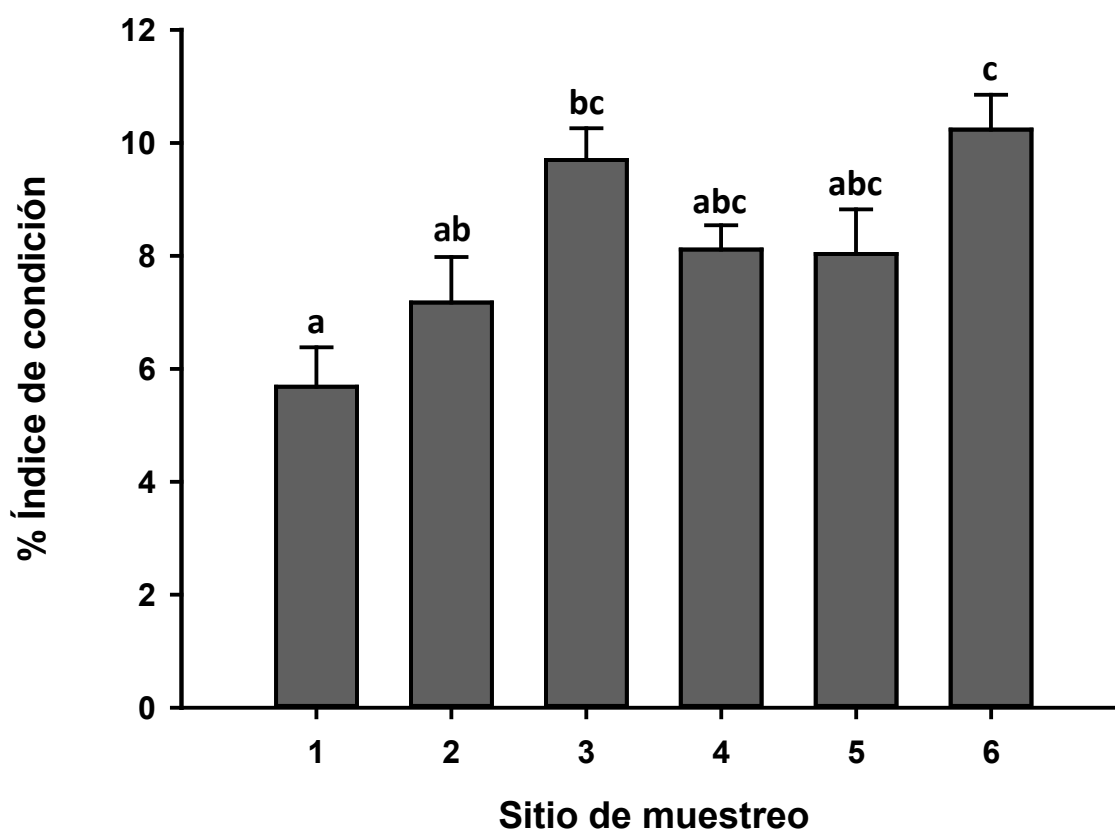
presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con el resto de los meses a excepción de septiembre ( $10.34 \% \pm 1.04$ ). En el sitio 4 (Fig. 14 D), el IC más bajo se observó en octubre con un  $6.89 \% \pm 0.44$  y fue significativamente diferente ( $P < 0.05$ ) a los meses de diciembre ( $9.23 \% \pm 0.65$ ) y enero ( $8.66 \% \pm 0.48$ ). En el sitio 5 (Fig. 14 E), los IC obtenidos en cada mes de muestreo presentaron diferencias altamente significativas entre si ( $P < 0.001$ ). Específicamente, en noviembre se observó el IC más bajo ( $5.41 \% \pm 0.23$ ), el cual presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con el resto de los meses. En contraste, en el sitio 6 (Fig. 14 F), el IC más alto se registró en septiembre ( $12.01 \% \pm 0.78$ ) y fue disminuyendo gradualmente hasta diciembre ( $8.37 \% \pm 0.36$ ), repuntando en enero ( $10.85 \% \pm 0.62$ ). Por lo tanto, en diciembre que se observó el IC más bajo presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con los meses de septiembre y enero.





**Figura 14.** Porcentaje promedio del Índice de condición del ostión *C. gigas* por sitio de muestreo durante el periodo de estudio. En la parte superior se muestra el error estándar y las letras indican si hubo diferencias significativas  $P < 0.05$ .

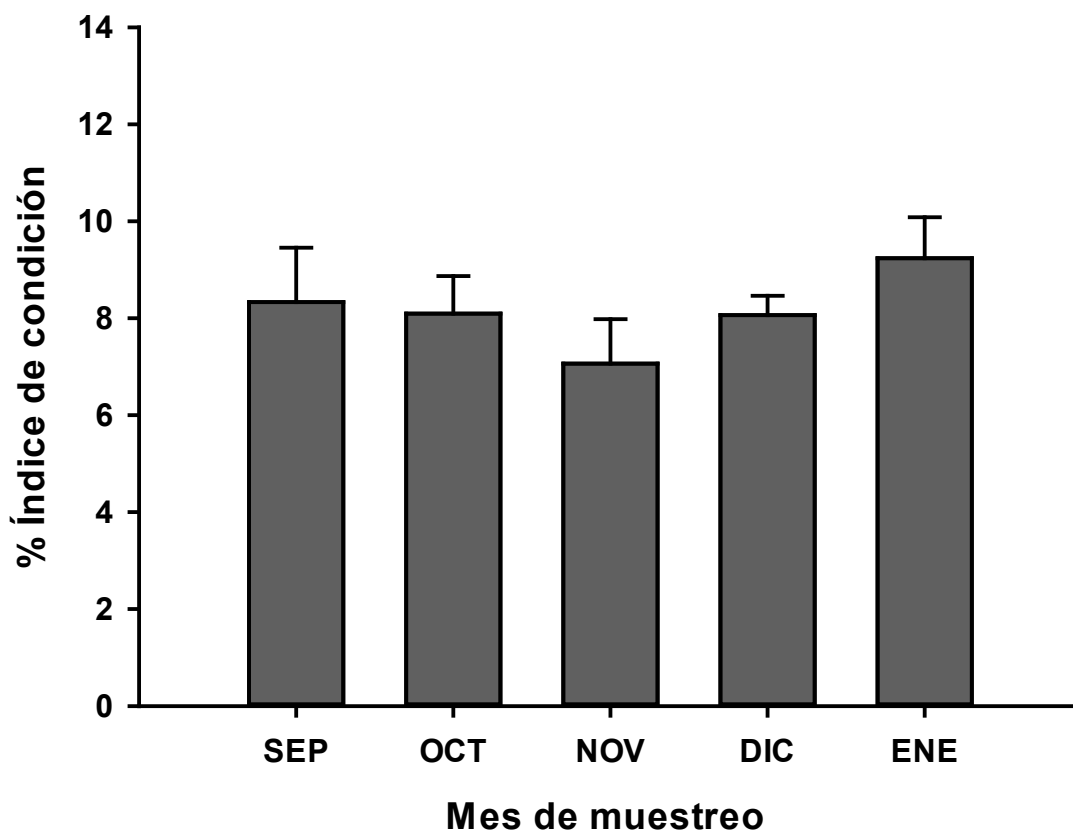
En la Figura 15 se muestra el promedio general  $\pm$  EE del IC (combinando todos los meses) para cada sitio. El IC más bajo ( $5.68\% \pm 0.70$ ) se registró en el sitio 1 seguido del sitio 2 ( $7.18\% \pm 0.80$ ), ambos localizados en la parte interna de la bahía (Figura 3). Las diferencias más marcadas se encontraron entre estos dos sitios y el sitio 6 ( $P < 0.001$ ), ubicado en el brazo este de la bahía y en donde se registró el IC más alto ( $10.24\% \pm 0.62$ ).



**Figura 15.** Porcentaje promedio del Índice de condición del ostión *C. gigas* por sitio de muestreo en Bahía San Quintín. En la parte superior se muestra el error estándar y las letras indican si hubo diferencias significativas  $P < 0.05$ .

El promedio  $\pm$  ET del IC combinando todos los sitios de muestreo por mes (Figura 16) mostró que el IC del ostión *C. gigas* varió levemente a través del tiempo, con una ligera disminución de septiembre ( $8.33\% \pm 1.12$ ) a noviembre, cuando se registró el IC más bajo ( $7.06\% \pm 0.92$ ). Posteriormente, vuelve a incrementar

en diciembre y enero, cuando se observó el IC más alto ( $9.24 \% \pm 0.84$ ). A pesar de dichas tendencias, no existen diferencias significativas ( $P = 0.512$ ).



**Figura 16.** Porcentaje promedio del Índice de condición del ostión *C. gigas* por mes de muestreo en Bahía San Quintín.

#### 4.4 Daños causados por polidóridos en la concha del ostión *C. gigas*

Los polidóridos encontrados en la concha del ostión causaron distintos tipos de perforaciones. En la Tabla 1 se muestra la clasificación del daño. Principalmente se diferenciaron en dos tipos que fueron los canales y las ampollas. En ambos casos se observaron dos categorías del daño, que fueron los canales y ampollas de reciente formación (Figuras 17 y 19) y los calcificados (Figura 18 y 20). En el primer grupo se caracterizaron por estar formados por una delgada capa, presuntamente de conquiolina y calcita, la cual se podía romper fácilmente. En contraste, los canales y ampollas calcificados se diferenciaron por estar cubiertos por una gruesa y dura capa calcárea difícil de perforar, lo cual los hacía menos visibles e incluso, en algunos casos podían pasar desapercibidos.

**Tabla 1.** Clasificación del daño en la concha de *C. gigas* causado por la presencia de polidóridos

Clasificación del daño	Canales		Ampollas	
	Forma	Rango de tamaño (cm)	Grado	Rango de Tamaño (cm <sup>2</sup> )
Reciente formación	De U	1.35 – 2.50	Ligero	0.1 – 2
	De túnel alargado	0.46 – 3.50	Moderado	2.1 – 5
	Interconectados	-	Severo	5.1 - 15
Calcificados	De U	1.35 – 2.50	-	-
	De túnel alargado	0.46 – 3.50	-	-
	Interconectados	-	-	-

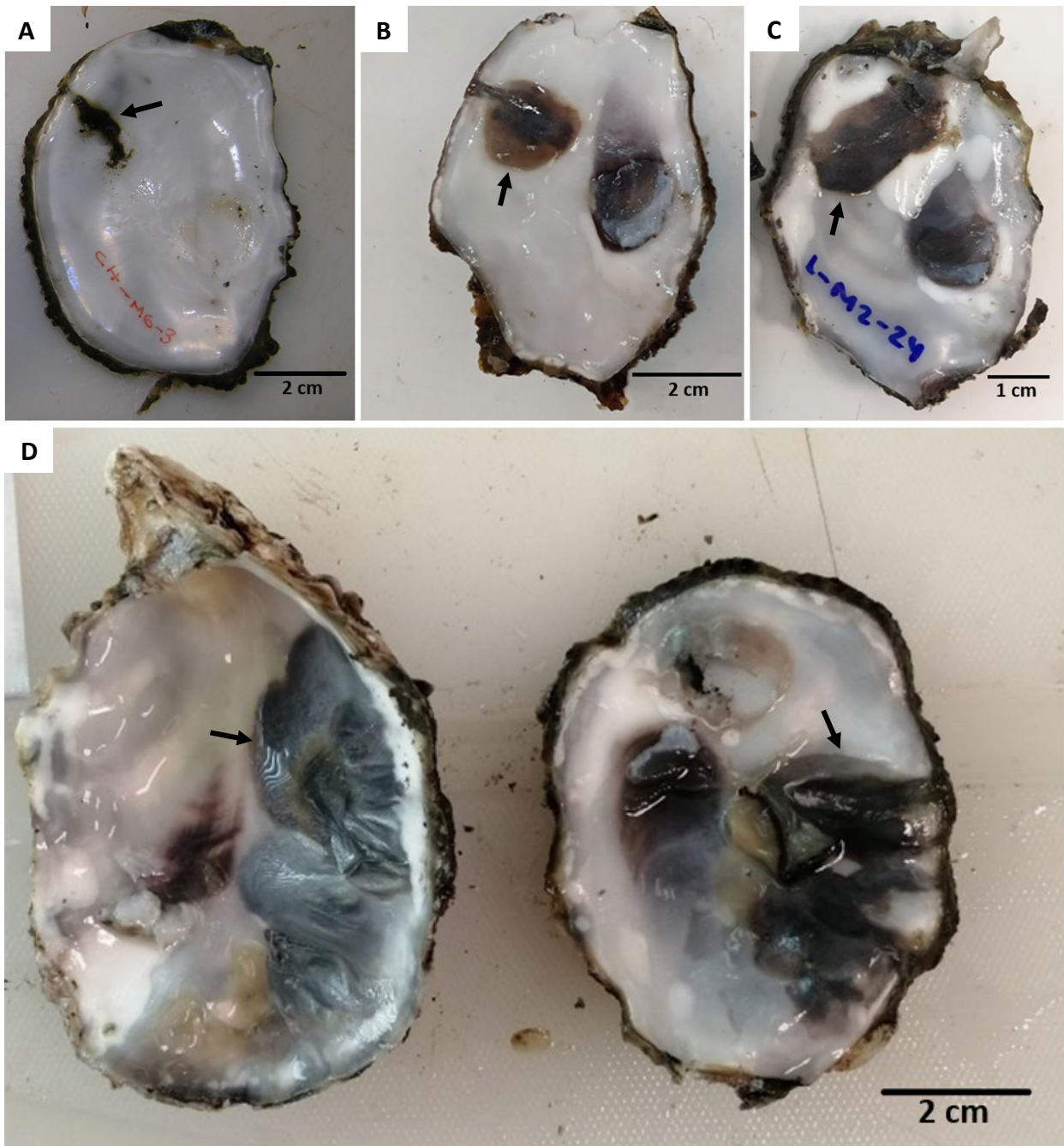
#### 4.4.1 Características de las ampollas encontradas en la concha de *C. gigas*

En el caso de las ampollas de reciente formación se identificaron tres grados de daño (ligero, moderado y severo) basado en el tamaño (cm<sup>2</sup>) de las ampollas. Los ostiones clasificados con un daño ligero se diferenciaron por presentar ampollas pequeñas que podían tener un área de 0.1 a 2 cm<sup>2</sup> (Figura 17A). Este tipo de ampollas contenían lodo fresco (textura suave y húmedo) en su interior, inclusive este podía ser retirado de la concha con tan solo tocarlo y generalmente se encontraba un poliqueto por ampolla. Además, a excepción de la ampolla, la valva interna del ostión siempre conservó sus características naturales. En contraste, los ostiones analizados que se consideraron con un grado de daño moderado (Figura 17 B y C) se caracterizaron por presentar ampollas que median desde 2.1 hasta 5 cm<sup>2</sup>, dentro de las cuales se observó una mayor acumulación de lodo y de un líquido transparente con apariencia de mucus, que visto desde la concha era de color marrón (Figura 17B).

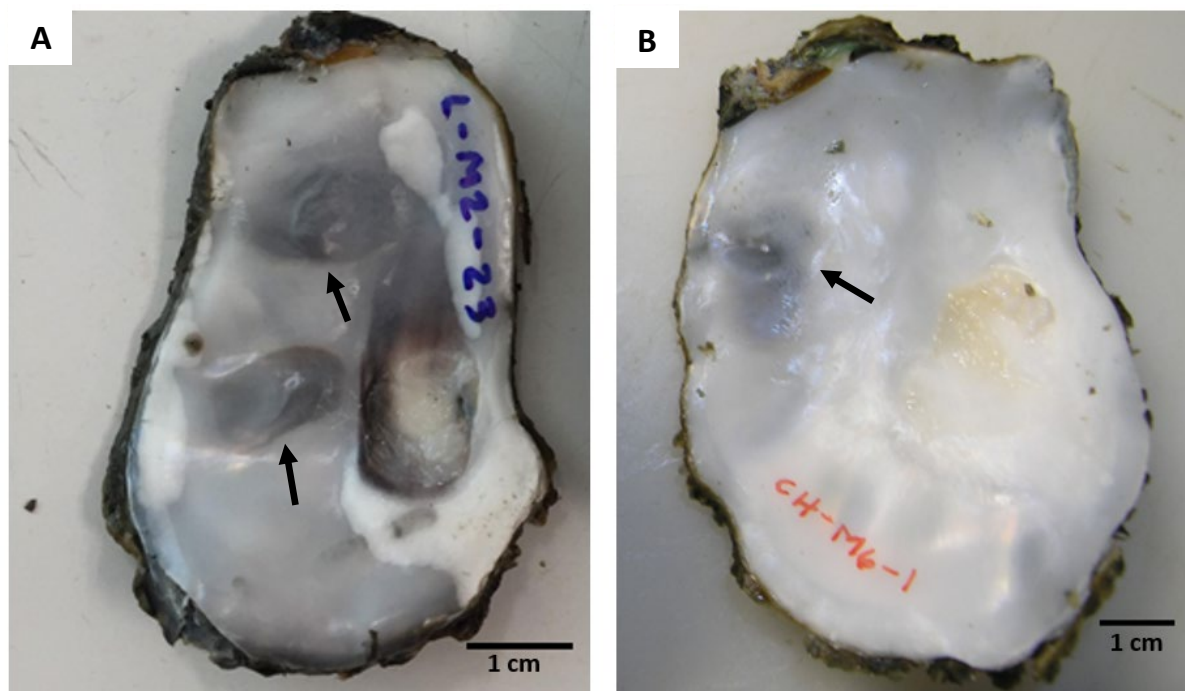
Conforme la ampolla aumenta su tamaño este líquido disminuye, la acumulación de lodo aumenta y el color de la ampolla se vuelve más oscuro (Figura 17C). Sin embargo, la capa de conchiolina que las cubre sigue siendo frágil y fácil de romper. Generalmente, dentro de este tipo de ampollas (daño moderado) se encontraron de uno a tres gusanos. Se consideró un grado de daño severo cuando las alteraciones en la concha de *C. gigas* causaron que esta perdiera por completo su morfología natural (Figura 17D). En este caso, las ampollas de reciente formación se diferenciaron por presentar una mayor acumulación de lodo que les proporcionó un color negro intenso. Así como por presentar un mayor tamaño (de 5.1 a 15 cm<sup>2</sup>) y un olor fétido. Además, al extraer el lodo se observó la presencia de otras ampollas internas. Específicamente, se pudieron observar varias capas de conchiolina que se encontraban separadas entre sí por una capa de lodo. Generalmente, dentro de cada capa se encontraba de uno a dos poliquetos, pero se

llegó a encontrar la presencia de hasta catorce poliquetos distribuidos entre los niveles de la ampolla. De manera tal, que las ampollas más grandes que causaron un daño severo en la concha son resultado de la superposición de varias ampollas (Figura 17D).

Las ampollas calcificadas (Figura 18), se caracterizaron por contener lodo seco en su interior y en algunos casos se encontró la superposición de ampollas internas. Sin embargo, la capa de conquiolina que las dividía era gruesa y difícil de romper. La capa calcificada que cubría a este tipo de ampollas varió en cuanto a su espesor y dureza. Por ejemplo, en la Figura 18A esta capa era más delgada que en la ampolla que se muestra en la Figura 18B, en donde prácticamente se tuvo que quebrar la concha para poder acceder a la ampolla. Generalmente, dentro de estas ampollas se encontraron de uno a tres poliquetos, aunque en las ampollas más duras no solía haber gusanos y la acumulación de lodo era menor. En esta categoría de daño (calcificado) no se diferenciaron distintos grados ya que en la mayoría de las veces las ampollas calcificadas parecieron solo una mancha típica (color gris oscuro y claro) de la concha del ostión, lo cual impidió medir su tamaño.



**Figura 17.** Ampollas de reciente formación causadas por polidóridos encontradas en el interior de la concha del ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín. A) Valva derecha con ampolla pequeña sin cubierta de conquiolina que ocasionó un daño ligero en la concha. B) y C) Valvas derechas con ampollas que ocasionaron un daño moderado en la concha. D) Valva izquierda y derecha con ampollas que ocasionaron un grado de daño severo en la concha. Las flechas indican el área dañada por la ampolla.



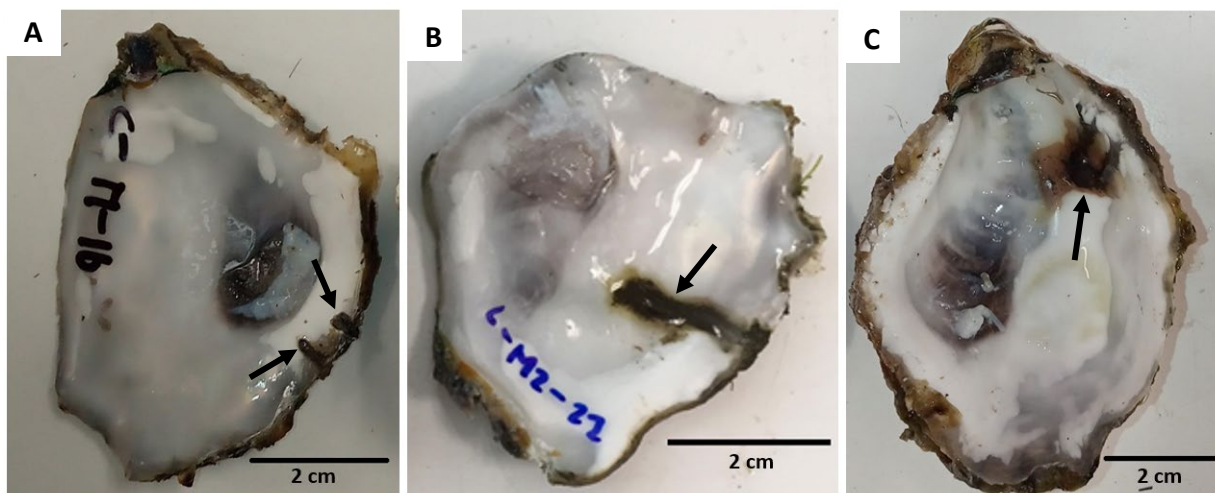
**Figura 18.** Ampollas calcificadas causadas por polidóridos encontradas en el interior de la concha del ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín. A) Valva derecha con dos ampollas calcificadas de color gris oscuro. B) Valva derecha con una ampolla calcificada de color gris claro. Las flechas indican el área donde se encuentran las ampollas.

#### 4.4.2 Características de los canales encontrados en la concha de *C. gigas*

Dentro de la clasificación de canales de reciente formación se encontraron distintas formas, pudiéndose observar canales en forma de túneles alargados (Figura 19B), en forma de U (Figura 19C) y con ramificaciones (Figura 4). La mayoría de las veces, los canales se encontraron adyacentes a la periferia de la concha, aunque en algunos casos se observaron en el centro. Además, se observó que los canales siempre estuvieron habitados por un solo poliqueto.

Los canales en forma de túnel fueron de variable longitud. Los más pequeños (0.46 cm) estaban formados por un tubo de lodo totalmente expuesto (Figura 19A) y que podía ser retirado de la concha con tan solo tocarlo. Este tipo de canal siempre se encontró adyacente a la periferia de la concha y el lodo presentó una textura suave y húmeda. Los canales en forma de tubo más grandes (3.50 cm), se encontraban protegidos por una capa de conquiolina transparente. Por lo tanto, se podía observar a través de esta el lodo obscuro (canal) con un borde verdoso (Figura 19B).

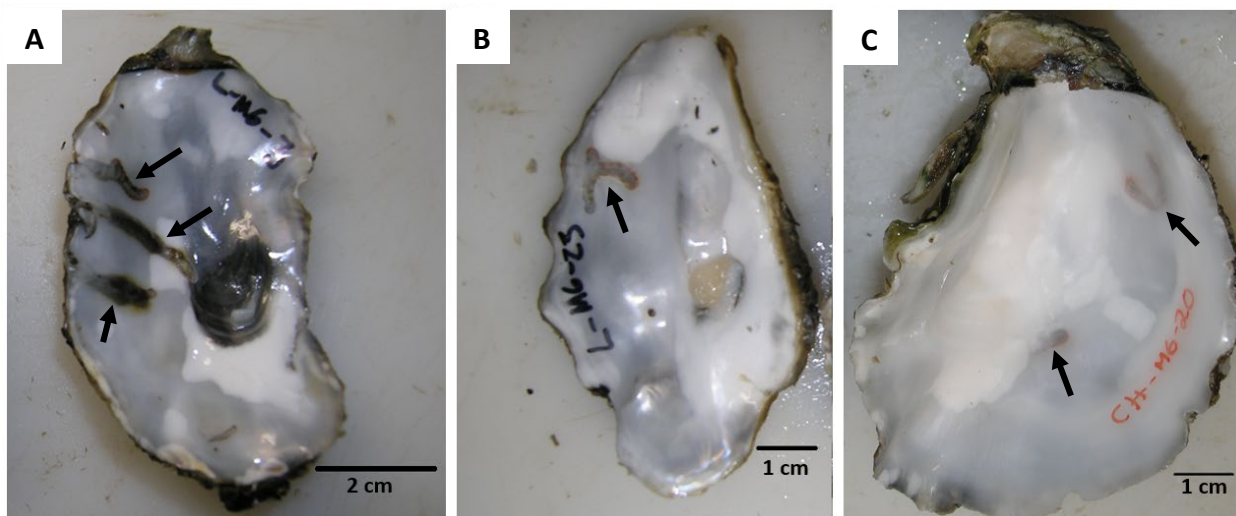
Los canales en forma de U (Figura 19C) se encuentran recubiertos por la característica capa transparente de conquiolina (fácil de perforar). En su interior se observa el canal de color negro y a su alrededor una mancha de color marrón que indica la presencia de un líquido transparente con apariencia de mucus. El tamaño de estos canales varió entre 1.35 y 2.50 cm.



**Figura 19.** Canales de reciente formación causados por polidóridos encontrados en el interior de la concha del ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín. A) Valva derecha con presencia de canales pequeños en forma de túnel sin cubierta de conquiolina, adyacentes a la periferia de la concha. B) Valva derecha con un canal en forma de túnel cubierto por una delgada capa de conquiolina. C) Valva derecha con un canal en forma de U cubierto por una delgada capa de conquiolina. Las flechas indican el área donde se encuentran los canales.

Los canales calcificados presentaron las mismas formas y tamaños que los de reciente formación. En la Figura 20A se observa la valva plana del ostión *C. gigas* con la presencia de tres canales en forma de túnel, los cuales muestran una coloración café verdoso que indica que aún existe lodo dentro del canal. Estos, se encontraron adyacentes a la periferia de la valva y aunque están cubiertos por una gruesa capa calcárea, esta fue menos difícil de romper que en otros casos. En contraste, los canales en forma de U no presentaron lodo en su interior y se diferenciaron por poseer una coloración rojiza (Figura 20B). En estos casos, la capa calcárea fue más gruesa y dura, por lo cual nunca se pudo romper y extraer el poliqueto (Figura 20C).





**Figura 20.** Canales calcificados causados por polidóridos encontrados en el interior de la concha del ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín. A) Valva derecha con presencia de tres canales en forma de túnel con lodo en el interior, ubicados hacia la periferia de la concha. B) Valva derecha con un canal calcificado en forma de U. C) Valva derecha con dos canales en forma de U cubiertos por una gruesa capa calcificada. Las flechas indican el área donde se encuentra los canales.

Es importante destacar que los canales de ambas clasificaciones (reciente formación y calcificados), independientemente de su forma, fueron encontrados dentro de las ampollas de reciente formación, sobre todo en las del grado de daño severo. Además, se observó que la mayoría de las ampollas se encontraron conectadas a la periferia de la concha a través de un canal en forma de túnel (Figura 17B). Así mismo, los canales también fueron observados dentro de las ampollas calcificadas, pero en menor proporción.

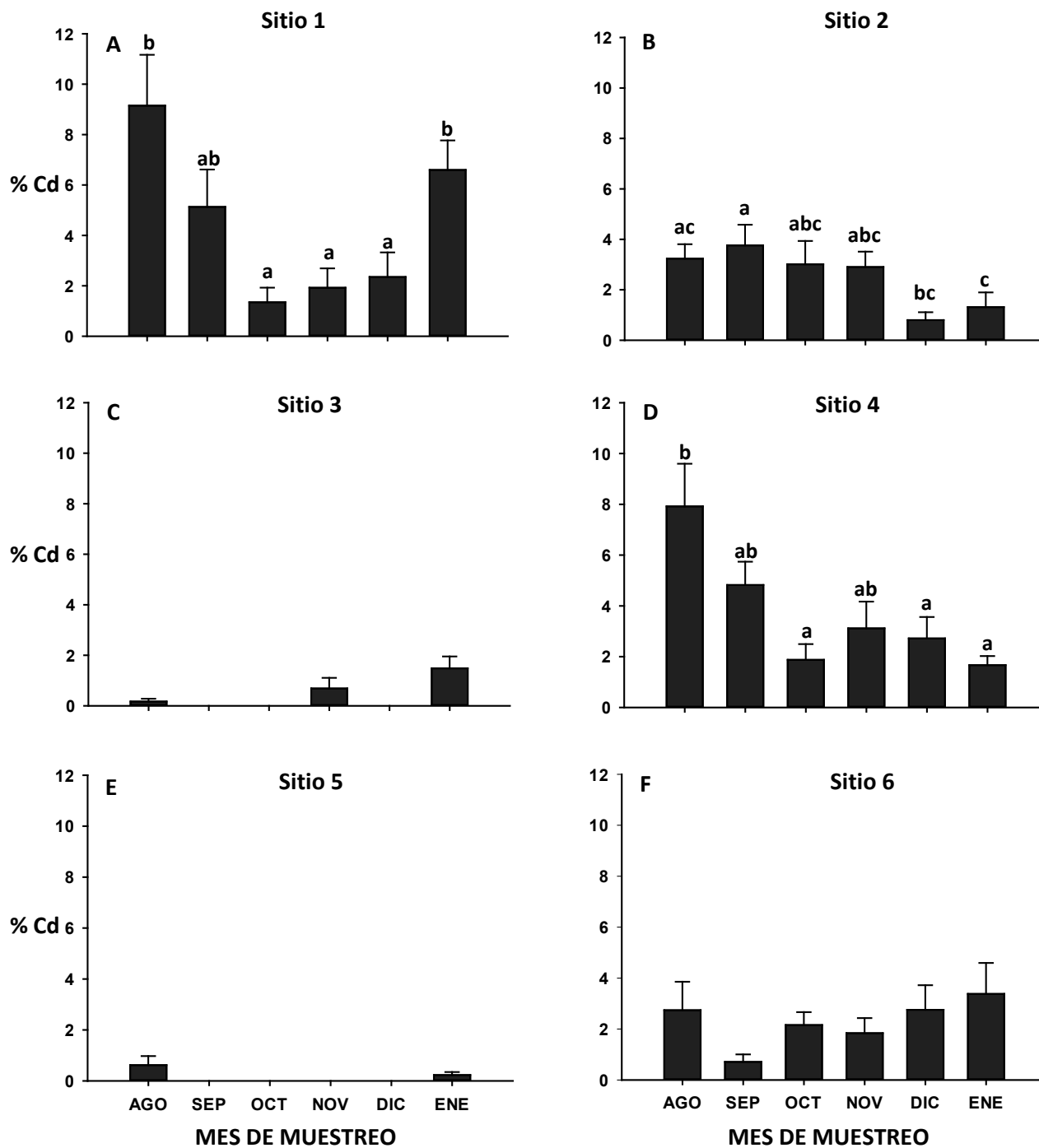
#### 4.5 Cobertura del daño en la concha del ostión *C. gigas*

A partir de las imágenes analizadas en el software ImageJ® se logró cuantificar la cobertura de las ampollas (%) generadas por polidóridos en la cara interna de la concha. Los ostiones presentaron una longitud media de concha de  $8.38 \pm 0.24$  cm. Los resultados se describirán por sitios de muestreo.

En el sitio 1, la cobertura del daño (% Cd) en la concha presentó diferencias altamente significativas ( $P = 0.001$ ) entre los meses de muestreo (Figura 21 A). Específicamente, se observó que el mayor daño en la

concha se presentó en agosto una media de  $9.15 \% \pm 2.02$ , pero de manera individual, el ostión más afectado tenía el 45% del área interna de la concha dañada. En enero, se registró un daño del  $6.59 \% \pm 1.17$  y este mes junto con agosto presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con respecto a los meses de octubre, noviembre y diciembre. En cambio, en el sitio 2 (Figura 21 B) el mayor % Cd se registró en septiembre con el  $3.76 \% \pm 0.82$ , siendo el máximo de 18 %. Septiembre presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) respecto a diciembre, cuando se observó el menor % Cd ( $0.80 \% \pm 0.31$ ) de los ostiones analizados. En contraste, en el sitio 3 (Figura 21 C), hubo muy poco daño, aunque la prueba estadística detectó diferencias significativas ( $P = 0.001$ ) entre los meses de muestreo. Sin embargo, la prueba de comparación múltiple no demostró que existieran diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) entre ninguno de los meses.

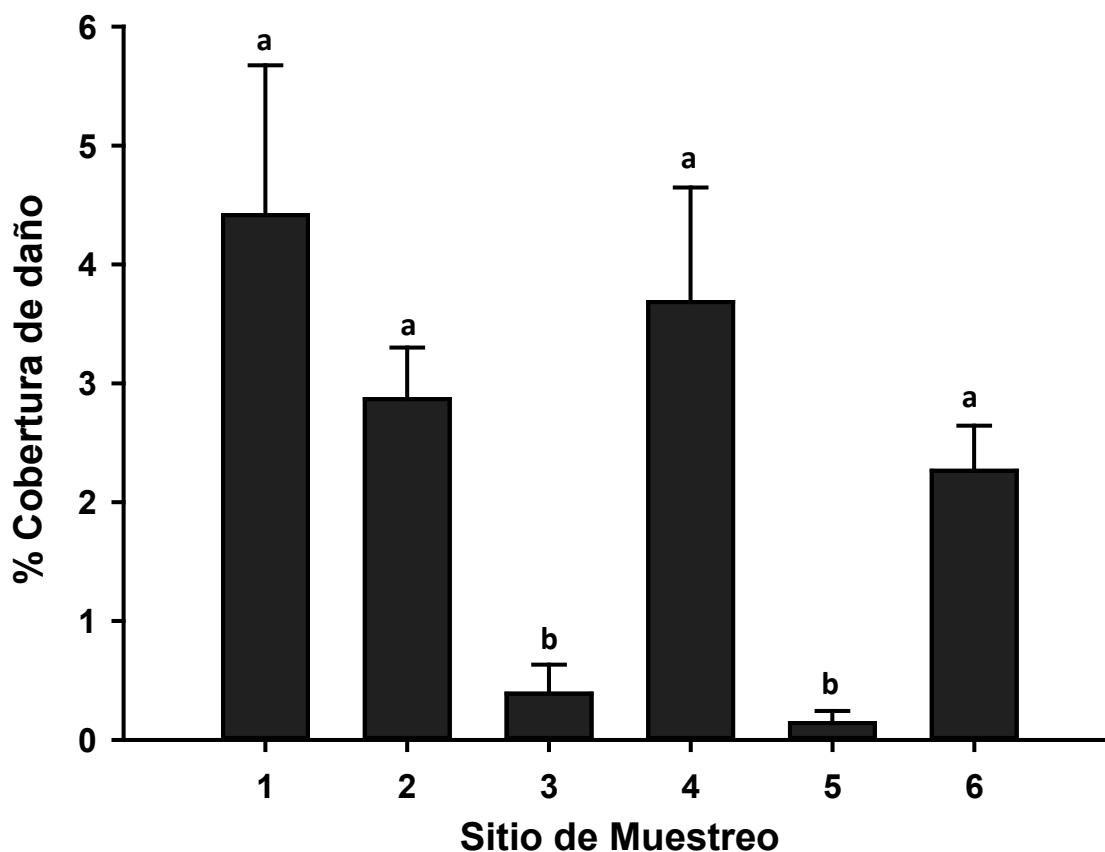
En el sitio 4 (Figura 21 D), se observaron diferencias altamente significativas ( $P = 0.001$ ) en el % Cd entre los meses de muestreo. En promedio, el mayor daño se observó en agosto con una media del  $7.92 \% \pm 1.68$  aunque en los casos más severos se registró un daño de hasta el 40%. Agosto presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con los meses de octubre, diciembre y enero. En enero se observó el menor % Cd ( $1.66 \% \pm 0.36$ ). En el sitio de muestreo 5 (Figura 21 E) se observaron bajos % Cd, pero hubo diferencias significativas ( $P = 0.012$ ) entre los meses de muestreo. Sin embargo, la prueba de comparación múltiple no demostró que existieran diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre ninguno de los meses.



**Figura 21.** Cobertura promedio del daño (%Cd) causado por polidóridos sobre la concha del ostión *C. gigas* por sitio y mes de muestreo. En la parte superior se muestra el error estándar y las letras indican si hubo diferencias significativas  $P < 0.05$ .

En el sitio de muestreo 6 (Figura 21F) el % Cd se mantuvo constante durante el periodo de muestreo, sin diferencias significativas mensuales ( $P = 0.09$ ). El promedio del % Cd varió entre  $0.71 \% \pm 0.30$  (septiembre) y  $3.38 \% \pm 1.22$  (enero); sin embargo, en los casos más severos se registró una cobertura del daño del 32 %.

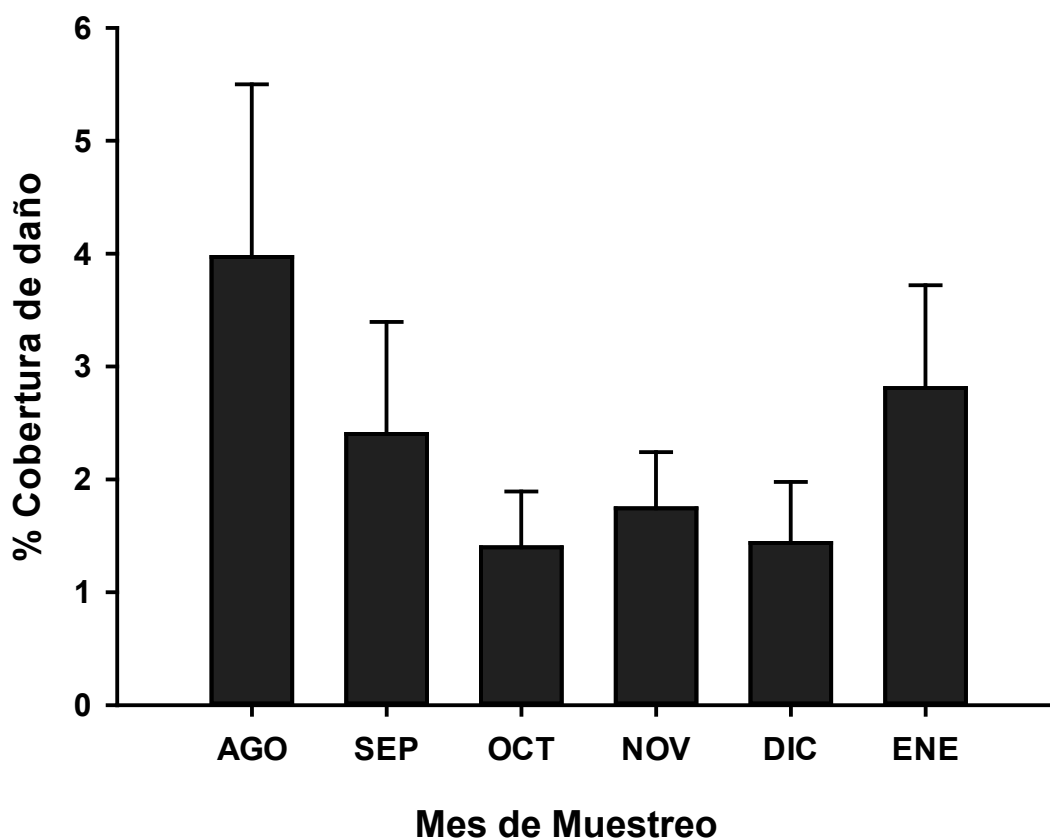
En la Figura 22 se muestra el promedio general del % Cd por sitio, combinando los meses de muestreo. Se observaron diferencias marcadas entre los sitios, las cuales fueron altamente significativas ( $P = 0.001$ ). El daño en la concha más bajo ( $0.14 \% \pm 0.10$ ) se registró en el sitio 5 seguido del sitio 3 ( $0.39 \% \pm 0.24$ ), ambos de la zona media, los cuales no fueron diferentes entre sí ( $P = 0.98$ ), pero si con el resto de los sitios ( $P < 0.05$ ).



**Figura 22.** Cobertura promedio del daño causado por polidóridos sobre la concha del ostión *C. gigas* por sitio de muestreo en Bahía San Quintín. En la parte superior se muestra el error estándar y las letras indican si hubo diferencias significativas  $P < 0.05$ .

Específicamente, las diferencias altamente significativas ( $P < 0.001$ ) encontradas fueron con los sitios 1 y 4, lugares donde se registraron los % Cd más altos ( $4.42 \% \pm 1.26$  y  $3.68 \% \pm 0.96$ , respectivamente). Los

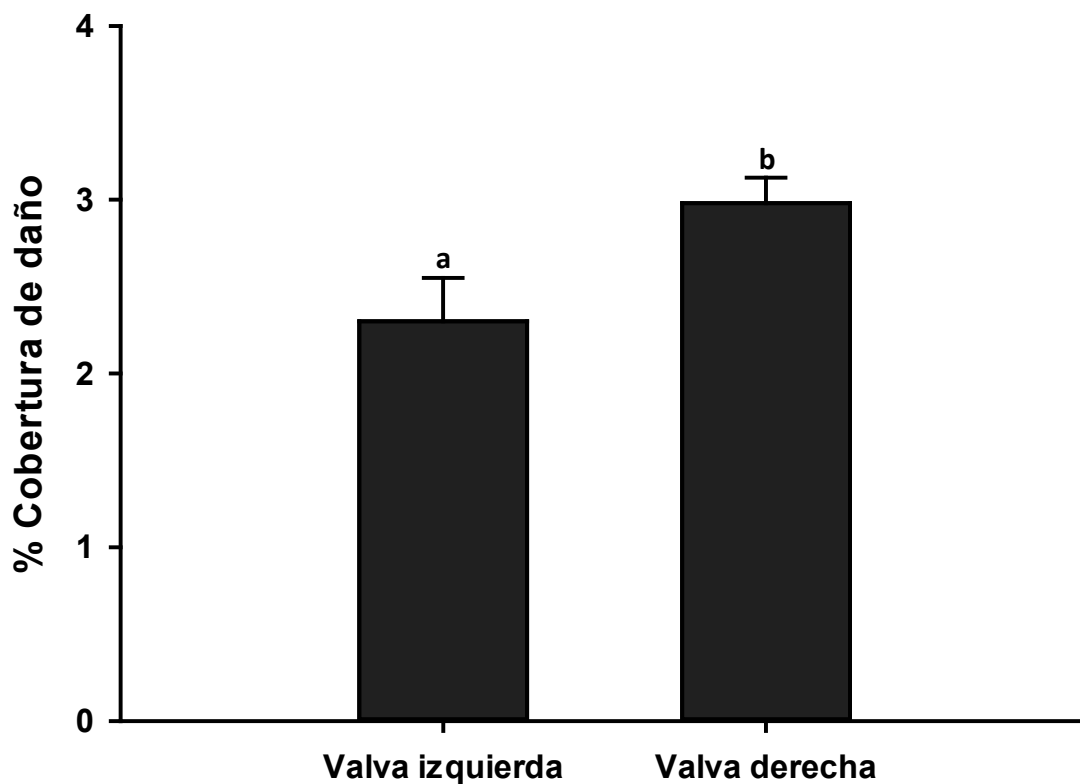
cuales fueron similares a los sitios 2 y 6, ( $P > 0.05$ ). En cuanto al promedio mensual del % Cd en el ostión *C. gigas* (Figura 23), se observa que este varió levemente durante el periodo de este estudio. En agosto se registró el daño más alto con un  $3.97 \% \pm 1.53$ , siendo el más bajo en octubre con  $1.40 \% \pm 0.50$ . Sin embargo, la prueba estadística no detectó diferencias significativas ( $P = 0.56$ ) entre los meses de muestreo.



**Figura 23.** Cobertura promedio del daño causado por polidóridos sobre la concha del ostión *C. gigas* por mes de muestreo. En la parte superior se muestra el error estándar.

Generalmente, el daño en la cara interna de la concha del ostión *C. gigas* causado por polidóridos, puede ocurrir tanto en la valva izquierda (cóncava), como en la derecha (plana). Sin embargo, a lo largo de este estudio se identificó una preferencia por parte del poliqueto hacia la valva derecha del ostión, donde se encontraron la mayoría de las ampollas y por lo tanto una mayor cobertura de daño. La cobertura del daño en la valva derecha de los ostiones fue de  $2.98 \% \pm 0.15$ , mientras que en la valva izquierda se registró un

promedio del 2.3 %  $\pm$  0.25. La prueba de Wilcoxon determinó diferencias altamente significativas ( $P = 0.001$ ) entre las valvas.



**Figura 24.** Porcentaje promedio de la cobertura del daño causado por polidóridos sobre la valva izquierda y derecha de la concha del ostión *C. gigas*. En la parte superior se muestra el error estándar y las letras indican si hubo diferencias significativas  $P < 0.05$ .

A pesar de que visualmente en algunos casos es evidente el deterioro de los ostiones infestados por polidóridos, no se encontró una correlación significativa del % Cd y el índice de condición.

#### 4.6 Análisis bacteriológico

Se aislaron 10 cepas bacterianas a partir de las ampollas de lodo presentes en el ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín durante el mes de octubre (M3). Todas las colonias crecieron en el medio de cultivo TCBS por lo cual se consideraron bacterias tipo *Vibrio*. En la Tabla 2 se muestra el resultado de la caracterización fenotípica y bioquímica de las bacterias aisladas. De cada ampolla, se aislaron dos cepas

diferentes que se distinguieron por su coloración (verdes y amarillas). La mayoría presentó una morfología colonial redonda y convexa.

Todas las colonias bacterianas resultaron ser Gram negativas con una morfología microscópica de bacilo corto. Además, la mayoría fueron positivas a la prueba catalasa y oxidasa.

**Tabla 2.** Caracterización fenotípica y bioquímica de las cepas bacterianas aisladas de las ampollas presentes en la concha del ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín.

Cepa	Color	Morfología colonial	Catalasa	Oxidasa	Gram
BM-M3-8	Amarilla	Redonda y convexa	+	+	-
BM-M3-8	Verde	Redonda y convexa	+	+	-
CH-M3-9	Amarilla	Redonda y convexa	+	+	-
CH-M3-9	Verde	Redonda y convexa	+	+	-
CH-M3-10	Amarilla	Redonda y convexa	+	+	-
CH-M3-10	Verde	Redonda y convexa	+	+	-
S-M3-5	Amarilla	Irregular y continua	+	+	-
S-M3-5	Verde	Redonda y convexa	-	+	-
S-M3-6	Amarilla	Redonda y convexa	-	+	-
S-M3-6	Verde	Redonda y convexa	-	+	-

## Capítulo 5. Discusión

---

### 5.1 Identificación taxonómica de polidóridos

Los poliquetos encontrados en la concha del ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín fueron identificados como polidóridos (poliquetos que pertenecen al Complejo-*Polydora*), debido a que todos presentaron el quinto setígero modificado, el cual es una de las características principales que identifican a este grupo de gusanos. Así como también lo es la capacidad que tienen para perforar sustratos calcáreos (Blake y Evans, 1973), misma que se observó durante este estudio. Este grupo es bastante amplio y complejo y aunque ya se han reconocido 147 especies de polidóridos (Walker, 2011), la identificación a nivel especie de estos gusanos sigue siendo todo un reto. Sobre todo, cuando se identifican con base en sus características morfológicas, ya que existen especies que son morfológicamente indistinguibles entre sí y aunado a esto, algunas especies de *Polydora* muestran un alto grado de variación intraespecífica, sobre todo en cuanto a los patrones de pigmentación (Sato-Okoshi y Abe, 2012, 2013); incluso, existen especies descritas en la literatura que se han confundido entre sí y que aun necesitan ser aclaradas (Simon, 2011; Sato-Okoshi y Abe, 2013). Otra variación intraespecífica importante y que se observó en el presente estudio, es la presencia o ausencia de ojos pues se ha observado en varias especies de *Polydora* que los gusanos pertenecientes a una misma especie pueden o no presentar un par de ojos (Radashevsky *et al.*, 2006).

Aunque no se pudo llevar a cabo el análisis molecular genómico de los organismos, se observaron características en estos gusanos que sugieren la presencia de al menos dos especies en los ostiones recolectados en Bahía San Quintín. Específicamente, se tratan de los dos patrones de pigmentación en los palpos (Figura 8), en forma de barras negras y el borde de color café oscuro. Estos patrones se han usado para diferenciar algunas especies de polidóridos. Por ejemplo, los palpos con barras negras son una característica invariante de *Polydora brevipalpa* y *Polydora uncinata* (Sato-Okoshi y Abe, 2012). En contraste, existen polidóridos que no presentan este tipo de pigmentación, como es el caso de *P. onagawaensis*, con palpos transparentes y solo el margen de estos muestra una pigmentación entre café y negro (Sato-Okoshi *et al.*, 2013). Sin embargo, esta característica solo puede ser utilizada como un apoyo en la identificación de algunas especies debido a su alto grado de variación intraespecífica (Sato-Okoshi y Abe, 2012).



Otra característica importante que distingue a los poliquetos del Complejo-*Polydora* es que algunos presentan la habilidad de utilizar varias estrategias de reproducción y desarrollo, esta particularidad se conoce como poecilogonia. Dentro de estas estrategias se encuentra la adelfofagia que es la capacidad que tienen las hembras para producir huevos nodriza que sirven de alimento para las larvas en desarrollo (Blake, 1969; Andrew *et al.*, 2014). La adelfofagia se observó en los polidóridos durante este estudio, los poliquetos en etapas de reproducción depositaron cadenas de cápsulas que contenían huevos nodriza y larvas ya desarrolladas (Figura 9). Esta estrategia ha sido documentada principalmente en gusanos del género *Polydora* (Blake, 1969) y recientemente fue comprobada en laboratorio por Ramírez-Esteban (2020) con ostiones procedentes de Bahía San Quintín, lo refuerza que los poliquetos analizados durante este estudio pertenezcan a este género. Además, de que ya se ha registrado previamente la presencia de *Polydora* sp. en los ostiones *C. gigas* cultivados en Bahía San Quintín (Cáceres-Martínez *et al.*, 1998). Sin embargo, cómo se mencionó anteriormente, se necesitan estudios de genética molecular para identificar la especie de los poliquetos observados en este trabajo.

## **5.2 Presencia, prevalencia e intensidad de infestaciones por polidóridos en *C. gigas***

El presente estudio reveló que los polidóridos se encuentran en todos los puntos de muestreo estudiados, lo que indica que están bien establecidos en la bahía; sin embargo, su prevalencia varió en los distintos sitios. La prevalencia más alta de polidóridos se registró en el sitio cuatro, situado en el brazo oeste de la bahía, donde el 66.11 %  $\pm$  8.84 de los ostiones analizados estuvieron infestados (Figura 5). Lo anterior, es similar a lo registrado por Cáceres-Martínez *et al.* (1998), pues reportaron que las prevalencias más altas de *Polydora* sp. sobre *C. gigas* estuvieron entre el 70 y 100 % también en la parte externa de la bahía. Además, reportaron que las prevalencias más bajas estuvieron alrededor del 5 y 20 % lo cual también es similar a lo observado en el presente estudio, aunque Cáceres-Martínez *et al.* (1998) las registraron en la parte interna del brazo oeste de la bahía, mientras que en este estudio se localizó en el área externa del brazo este de Bahía San Quintín.

La intensidad de la infestación por polidóridos en el ostión *C. gigas* también varió en los sitios de muestreo, en promedio se observaron de uno a tres gusanos por ostión. Sin embargo, en las infestaciones más severas se cuantificaron hasta catorce gusanos por hospedero. En contraste, Cáceres-Martínez *et al.* (1998) registraron una intensidad más baja con un máximo de 6 gusanos por ostión.

Similarmente, en otros polidóridos, como *B. knoxy* de Nueva Zelanda se han observado un promedio de entre cuatro y ocho gusanos por ostión *C. gigas* (Handley, 1995) y en Shanghái, China se han reportado hasta diez gusanos de la especie *P. websteri* por ostión (Sato-Okoshi *et al.*, 2013). Sin embargo, en otras localidades como Veys, Francia se han registrado infestaciones más severas, de hasta cuarenta gusanos por ostión (Ruellet, 2004). No obstante, las diferencias en cuanto a las intensidades de infestación registradas en este estudio y en el de Cáceres-Martínez *et al.* (1998), pueden ser un indicador de que la presencia de polidóridos en Bahía San Quintín ha ido en aumento a través del tiempo.

La abundancia, prevalencia e intensidad de las infestaciones causadas por polidóridos depende de varios factores ambientales. Lauckner (1983) menciona que los niveles altos de salinidad favorecen la construcción de canales en la concha de ostiones infestados por *Polydora* sp. Este factor puede estar involucrado en las infestaciones de polidóridos encontradas en el presente estudio, específicamente en los sitios de muestreo uno y dos (parte interna de la bahía). Esto debido a que Bahía San Quintín es considerada como una laguna costera hiper-salina, donde la salinidad se incrementa de la boca hacia su interior debido a la elevada tasa de evaporación y a la ausencia casi total de precipitación pluvial y escurrimientos superficiales (Chavez-de-Nishikawa y Álvarez-Borrego, 1974; Álvarez-Borrego *et al.*, 1975). Además, la temperatura juega un papel importante en la presencia de estos gusanos (Zajac, 1991). Sin embargo, durante este estudio no se observaron diferencias en las prevalencias de polidóridos durante los meses de muestreo, aunque la temperatura haya variado durante estos meses (Ramírez-Esteban, 2020). Tanto la prevalencia como la intensidad de infestación en este estudio están más asociados con el punto de muestreo que con la variabilidad mensual, lo que podría explicarse por la estrategia de desarrollo larval detectada en este estudio y más detalladamente por Ramírez-Esteban (2020). De tal manera que, al ocurrir el desarrollo de larva a adulto dentro del hospedero, ese ambiente interior que es relativamente estable permite que independientemente de los cambios ambientales externos este proceso se lleve a cabo, lo cual soporta la hipótesis de que esta estrategia de desarrollo larval evita enfrentar los cambios externos a que estaría sujeto el desarrollo larval en el plancton (Almeda *et al.*, 2009; Ramírez-Esteban, 2020). Sin embargo, las características del sitio de cultivo parecen tener mucha mayor influencia (micro-corrientes, disponibilidad de alimento y turbidez.) en esta simbiosis poliqueto-ostión.

Por otra parte, Cáceres-Martínez *et al.* (1998) demostraron que los ostiones expuestos al aire y el sol durante la marea baja presentan prevalencias de *Polydora* sp. más bajas, que aquellos que están bajo el agua todo el tiempo. Esta característica también ha sido observada en los ostiones *C. gigas* cultivados en Nueva Zelanda, donde se encontró que las infestaciones causadas por *P. websteri* disminuyeron en los

ostiones que estuvieron expuestos al sol durante la marea baja (Handley y Bergquist, 1997). Este factor también podría explicar las diferencias encontradas en las prevalencias de infestación por polidóridos en los sitios de muestreo durante este trabajo; sin embargo, no contamos con registros de tiempos de exposición al aire durante la bajamar en este estudio. La densidad de organismos en los cultivos también es un factor importante sobre la prevalencia e intensidad de las infestaciones por polidóridos (Lleonart, 2001). Este factor podría estar influyendo en los resultados obtenidos durante este trabajo pues los productores de ostión en Bahía San Quintín utilizan distintas densidades en sus cultivos (Obs. Personal); sin embargo, no contamos con estos datos.

### 5.3 Daños en la concha del ostión *C. gigas* causados por polidóridos

En este estudio se clasificaron los daños causados por polidóridos sobre la concha del ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín (Tabla 1). Principalmente se distinguieron dos tipos de daño que fueron los canales y ampollas, ambos ya han sido observados por otros autores en esta misma especie (Handley, 1995, 1998; Handley y Bergquist, 1997, Cáceres-Martínez *et al.*, 1998; Simon, 2011). Además, dentro de cada tipo de daño se identificaron dos clasificaciones que fueron los canales y ampollas de reciente formación y los calcificados. Estas clasificaciones pueden ser un indicador de la temporalidad de la infestación por estos poliquetos sobre el ostión *C. gigas*. Es decir que ampollas frágiles indican una infestación activa mientras que ampollas calcificadas indican infestaciones previas, y la coexistencia de ambas una recurrencia de periodos de actividad de infestación. Diez *et al.* (2013) registraron tres tipos de daños (manchas, alteraciones calcáreas y ampollas de lodo) causados por *Polydora rickettsi* sobre la vieira *Aequipecten tehuelchus* y mencionan que estos daños muestran una secuencia de la infestación, en donde las manchas corresponden a la etapa inicial, mientras que las alteraciones calcáreas y las ampollas de lodo son formas distintas de infestaciones avanzadas. Según los tipos de daño observados durante este estudio, es probable que la infestación de los polidóridos en *C. gigas* haya iniciado con una ampolla o canal de reciente formación que generó un grado de daño ligero sobre la cara interna de la concha. Seguido de esto, las ampollas aumentaron de tamaño ocasionando un grado de daño moderado y finalmente severo. Lo anterior es similar a lo que mencionan Blake y Evans, (1973), quienes describen que los poliquetos asentados en el interior de la concha generan una acumulación de lodo, que estimula la secreción de una capa de conquiolina por parte del hospedero y termina en la formación de una ampolla de lodo.

Además, en el presente estudio se observaron las dos rutas de infestación que describieron Blake y Evans (1973) pues la mayoría de las ampollas de reciente formación no presentaron rastros de perforaciones

(Figura 17), por lo cual es probable que los poliquetos hayan invadido la concha de su hospedero cuando estos abrieron sus valvas para alimentarse, asentándose entre la cara interna de la concha y el manto. En contraste, solo en algunos casos en que se presentaron ampollas con daño severo se observó la segunda ruta de infestación, pues había perforaciones desde la parte externa de la concha.

Se ha demostrado que las ampollas cubiertas por gruesas capas calcáreas presentan un mayor tiempo de residencia en la concha de su hospedero y que la densidad de la capa calcárea se correlaciona con la edad de la ampolla (Handley y Bergquist, 1997; Diez *et al.*, 2013). Es probable que los canales y ampollas calcificados sean el resultado de un proceso de cicatrización por parte del ostión y esta sea la etapa final de la infestación por polidóridos sobre el ostión *C. gigas*. Sin embargo, esto no quiere decir que el poliqueto muera, ya que durante todo el periodo de estudio se extrajeron gusanos vivos de este tipo de ampollas. Además, los ostiones siguen siendo propensos a las re-infestaciones por estos poliquetos, los cuales pueden asentarse encima de las ampollas ya cicatrizadas. Lo anterior, podría ser una explicación de la formación de las ampollas que se encontraron superpuestas entre si (una encima de otra). Incluso, Tinoco-Orta y Cáceres-Martínez (2003), observaron que las larvas de poliquetos prefieren asentarse en organismos que ya están infestados. Por tanto, las clasificaciones del daño por polidóridos realizadas en este estudio, pueden ser utilizadas como una herramienta para los productores de ostión, ya que con base en estas observaciones pueden determinar si sus cultivos presentan una infestación activa, si las infestaciones son antiguas o si se trata de una re-infestación.

Los daños ocasionados por polidóridos sobre el ostión *C. gigas* pueden verse influenciados por varios factores como lo son la especie del gusano, la gravedad de la infestación, el tamaño y especie del hospedero y las condiciones ambientales (Lleonart *et al.*, 2003). La condición del hospedero también juega un papel importante sobre el impacto del gusano, pues si los ostiones se encuentran sanos y tienen un rápido crecimiento pueden cubrir rápidamente al poliqueto y el daño que este les causa, en cambio si se encuentran débiles pueden sufrir daños severos e incluso la muerte (Royer *et al.*, 2006). Esto podría verse relacionado con los resultados obtenidos en el sitio uno, ya que fue ahí en donde se observó el IC más bajo de los ostiones, lo cual pudo haber influido en los altos porcentajes de la cobertura del daño registrados en dicho lugar, pues al estar debilitados es más difícil que cubran el daño que causan las ampollas generadas por polidóridos; sin embargo, no se cuentan con registros del IC de los ostiones antes de las infestaciones.

El menor porcentaje de daño en la concha se registró en el sitio 5 y 3, y coincide con que en la mayoría de las veces los polidóridos se encontraban en canales calcificados; así mismo, en ambos sitios se registraron las prevalencias de infestación más bajas. Lo anterior, puede estar asociado a que los ostiones cultivados en estos sitios presentaron un IC alto, lo cual los vuelve menos susceptibles a las infestaciones por polidóridos. Sin embargo, en el sitio 6 se observó el IC más alto y aun así la prevalencia de infestación fue alta al igual que el porcentaje de daño en la concha. Por lo cual, es necesario continuar el estudio en otras estaciones del año que no se analizaron y completar un ciclo anual. Además, es conveniente enfocar nuevos análisis en las zonas de cultivo en donde se observó mayor recurrencia de las infestaciones por polidóridos ya que en este caso se realizó de manera aleatoria.

La cuantificación de la cobertura del daño en la concha de los ostiones demostró que los polidóridos mostraron preferencia por la cara interna de la valva derecha del ostión *C. gigas*. Así mismo, Cáceres-Martínez *et al.* (1998) también demostraron que *Polydora* tuvo una preferencia por la valva derecha del ostión. En contraste, Diez *et al.* (2013) demostraron que *P. rickettsi* prefiere la valva izquierda de la vieira *A. tehuelchus* lo cual puede deberse a que esta se encuentra más expuesta a las larvas que son transportadas por el flujo del agua cercano al fondo. También mencionan que esta preferencia parece depender de la especie del hospedero. En el caso de *C. gigas*, la valva derecha se caracteriza por ser plana y esto podría influir en que quede más expuesta a la colonización de polidóridos ya que está más cercana al sustrato. Además, cuando el ostión abre sus valvas para alimentarse, la valva plana queda más expuesta al asentamiento de las larvas de polidóridos.

#### **5.4 Índice de condición del ostión *C. gigas* con infestaciones por polidóridos**

Los ostiones analizados durante este estudio, provenientes de distintos sitios de Bahía San Quintín presentaron diferencias espaciales en el IC. En la parte interna del brazo oeste de la bahía (sitios 1 y 2) se presentaron los IC más bajos ( $5.68 \% \pm 0.70$  y  $7.18 \% \pm 0.80$  respectivamente), lo cual podría deberse al daño ocasionado por las infestaciones de polidóridos. Sin embargo, no se encontró ninguna correlación entre el IC y la cobertura del daño, así como tampoco con el número de ampollas y gusanos. Por ejemplo, el sitio seis presentó el IC más alto ( $10.24 \% \pm 0.62$ ), pero también mostró la prevalencia de infestación más alta y la cobertura del daño también fue alta. Sin embargo, en otras localidades como el sitio 4 que presentó altos IC, tuvo también alta prevalencia y cobertura del daño causado por polidóridos.

Esto podría indicar que las infestaciones por estos gusanos no afectan directamente el IC de su hospedero, o tal vez dicho índice no sea la mejor forma de medir el impacto que causan estos poliquetos. No obstante,

el IC de los organismos antes de las infestaciones, si puede influir en el daño que estas causan; pues un IC bajo aumenta la susceptibilidad del hospedero (Royer *et al.*, 2006). Sin embargo, este es un tema controversial, pues existen estudios que a través del IC han comprobado que estos poliquetos si dañan la salud del organismo (Handley, 1998; Royer *et al.*, 2006) y estudios en donde no se ha observado un daño severo en el hospedero (Handley y Bergquist, 1997; Cáceres-Martínez *et al.*, 1998).

Las diferencias observadas en el IC entre los puntos de muestreo pueden estar relacionadas con factores ambientales y fisiológicos del organismo. Se ha demostrado, que en los extremos internos de Bahía San Quintín hay hasta diez veces menos abundancia de fitoplancton, tres veces menos productividad y concentración de clorofila y una mayor turbidez que en la boca de la bahía (Álvarez-Borrego, 2004). Esto significa que en la parte interna de la bahía hay menor disponibilidad de alimento y puede estar relacionado con los bajos IC registrados en esta área. Además, García-Esquivel *et al.* (2004) determinaron un menor crecimiento en los ostiones cultivados en la parte interna de Bahía San Quintín. De manera tal que las condiciones del sitio de cultivo influyen directamente en la condición de los organismos, lo que podría influir en la susceptibilidad a las infestaciones por polidóridos y al daño que estos causan en la concha.

Otro factor importante que influye en el IC del ostión *C. gigas* es su ciclo reproductivo, pues cuando los ostiones se encuentran maduros o en etapa de gametogénesis aumenta el peso de su carne, debido a la acumulación de reservas y el desarrollo de los folículos (Galvão *et al.*, 2000; Lenz y Boehs, 2011). Esto se refleja en un aumento del IC. Paniagua-Chávez y Acosta-Ruiz (1995), describieron el ciclo reproductivo del ostión *C. gigas* cultivado en Bahía San Quintín e identificaron que la maduración de los organismos ocurre en primavera y verano (de abril a septiembre), se realizan por desoves parciales y totales; en cambio, durante el otoño observaron organismos en fase de postdesove e indiferenciados. Además, demostraron que el desarrollo gonádico del ostión puede variar dependiendo del sitio de cultivo en la bahía, sobre todo por variaciones de temperatura. De manera tal, que las diferencias encontradas en el IC durante el presente estudio podrían estar asociadas al estado reproductivo de los organismos. Sin embargo, no se tomaron muestras durante la primavera, ni tampoco se evaluó el estado reproductivo de los ostiones. Por lo cual, es fundamental realizar un estudio durante un periodo de tiempo más largo; así como incluir información sobre el estado reproductivo de los organismos.

## 5.5 Bacterias con potencial patógeno asociadas a las ampollas presentes en *C. gigas*

En este estudio se comprobó que las ampollas de lodo generadas por las infestaciones de polidóridos del ostión *C. gigas* estuvieron asociadas a bacterias tipo *Vibrio*, las cuales son patógenas y oportunistas (Jun y Woo, 2003). Además, se ha demostrado que pueden afectar a los moluscos bivalvos durante su ciclo de vida, desde larvas hasta adultos (Allam *et al.*, 2002). Sin embargo, en este estudio no fue posible determinar la especie de las bacterias asociadas con las ampollas, ya que no fue posible realizar el análisis molecular debido a la pandemia. No obstante, el aislar cepas bacterianas a partir de las ampollas (Tabla 4) significa que las infestaciones por estos gusanos favorecen la presencia de bacterias oportunistas que pueden llegar a causar una infección bacteriana. Esto ya ha sido reportado por Lauckner (1983), quien encontró abscesos en el área del músculo abductor de los ostiones analizados y fueron asociados con las perforaciones causada por *Polydora* sp. Así mismo, Cáceres-Martínez *et al.* (2016) encontraron la presencia de *Vibrio splendidus* en las ampollas generadas por *Boccardia proboscidea* sobre el abulón de cultivo *Haliotis rufescens*.

## Capítulo 6. Conclusiones

---

- Los poliquetos encontrados en los ostiones *C. gigas* cultivados en Bahía San Quintín fueron identificados taxonómicamente hasta nivel familia (Spionidae), específicamente dentro del Complejo-*Polydora* (polidóridos).
- Los polidóridos encontrados están bien establecidos en la Bahía dado que se observaron en todos los puntos de muestreo y durante todo el periodo de estudio.
- La prevalencia e intensidad de las infestaciones y daño de la concha causadas por polidóridos sobre el ostión *C. gigas* variaron de acuerdo con el sitio de muestreo, pero no estacionalmente.
- La relativa estabilidad de la prevalencia e intensidad de infestación durante el periodo de estudio puede estar relacionada con la estrategia del desarrollo larval de los polidóridos estudiados.
- La clasificación del daño causado por polidóridos sobre la concha de *C. gigas* puede ser utilizada como una herramienta por los productores de ostión para identificar si sus cultivos presentan una infestación activa, si las infestaciones son antiguas o si se trata de una re-infestación.
- Las infestaciones por polidóridos mostraron una preferencia por la valva derecha del ostión *C. gigas*.
- No se encontró una relación directa entre el índice de condición de los ostiones *C. gigas* con las infestaciones de polidóridos, pero si con el sitio de muestreo.
- Las ampollas generadas por polidóridos sobre la concha del ostión *C. gigas* presentaron una asociación con bacterias tipo *Vibrio*.



## Capítulo 7. Recomendaciones

---

- ✓ Se sugiere realizar el análisis de genética molecular de los polidóridos encontrados en este estudio para identificarlos hasta nivel especie. Así como de las bacterias asociadas con las ampollas generadas por estos poliquetos.
- ✓ Se recomienda continuar con este estudio por lo menos hasta completar un año de muestreos para corroborar si existen cambios estacionales en la prevalencia, intensidad, daño en la concha y en el índice de condición.
- ✓ Se recomienda realizar monitoreos constantes de los cultivos basándose en la clasificación del daño propuesta en este estudio para identificar si están siendo infestados por polidóridos. Sobre todo, cuando se planea mover organismos de un sitio de cultivo a otro.
- ✓ Se sugiere realizar un análisis en fresco como el de este estudio para los organismos que no provengan de Bahía San Quintín para evitar la introducción de otras especies de polidóridos.
- ✓ Se sugiere realizar experimentos específicos para identificar las variables ambientales de cada sitio de cultivo que influyen en las infestaciones por polidóridos.
- ✓ Se recomienda realizar un experimento en el que se comparen las distintas artes de cultivo utilizadas en Bahía San Quintín; así como la densidad de organismos utilizadas en estas y el manejo que se le da a los ostiones, con respecto a la infestación por polidóridos.

## Literatura citada

---

- Allam, B., Paillard, C., Ford, S.E. 2002. Pathogenicity of *Vibrio tapetis*, the etiological agent of Brown ring disease in clams. *Diseases of Aquatic Organisms*, 48: 221-231.
- 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.
- Almeida, M. J., Moura, C., Machado, J., Coimbra, J., Vilarinho, L., Ribeiro, C., Soares-da-Silva, P. 1996. Aminoacid and metal content of *Crassostrea gigas* shell infested by *Polydora sp.* in the prismatic layer insoluble matrix and blister membrane. *Aquatic Living Resources*, 9: 179–186.
- Álvarez-Borrego, S. 2004. Dinámica de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera fuertemente afectada por surgencias costeras. *Ciencias Marinas*, 30 (1A): 1-19.
- Álvarez-Borrego, J., Álvarez –Borrego, S. 1982. Temporal and spatial variability of temperature in two coastal lagoons. *CalCOFI Reports*, XXIII: 188-197.
- Álvarez-Borrego, S., Ballesteros, G., Chee, A. 1975. Estudio de algunas variables fisicoquímicas superficiales en la Bahía de San Quintín en verano, otoño e invierno. *Ciencias Marinas*, 2: 1–9.
- Andrew, D.A., Conrad, A.M., Carol, A.S. 2014. Poecilogony in *Polydora hoplura* (Polychaeta: Spionidae) from commercially important molluscs in South Africa. *Marine Biology*, 161: 887-898.
- Bergey, D.H., Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath, H.A. 1994. *Bergey's Manual of determinative bacteriology*. (9a.ed.) Williams and Wilkins, Baltimore.
- Bergman, K.M., Elnor, R.W., Risk, M.J. 1982. The influence of *Polydora websteri* borings on the strength of the shell of the sea scallop *Placopecten magellanicus*. *Canadian Journal of Zoology*, 60, 2551–2556.
- Blake, J.A. 1969. Reproduction and larval development of *Polydora* from Northern New England (Polychaeta: Spionidae). *Ophelia*, 7: 1-63.
- Blake, J.A. & J.W. Evans. 1973. *Polydora* and related genera as borers in mollusks shells and other calcareous substrates (Polychaeta: Spionidae). *Veliger*, 15 (3): 235-249.
- Blake, J.A., 1996. Taxonomic Atlas of the benthic fauna of the Santa Barbara channel. Volume 6. The annelida Part 3. Polychaeta: Orbiniidae to Cossuridae. 81-92 p.
- Boscolo, R., Giovanardi, O. 2002. *Polydora ciliata* shell infestation in *Tapes philippinarum* Manila clam held out of the substrate in the Adriatic Sea, Italy. *Journal of Invertebrate Pathology*, 79: 197-198.
- Cabello-Pasini, A., Muñis-Salazar, R., Ward, D.H. 2004. Biochemical characterization of the eelgrass *Zostera marina* at its southern distribution limit in the North Pacific. *Ciencias Marinas*, 30: 21-34.
- Cáceres-Martínez J., Macías-Montes de Oca, P., Vásquez-Yeomans, R. 1998. *Polydora sp.* infestation and health in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* cultured in Baja California, NW México. *Journal of Shellfish Research* 17(1): 259-264.

- Cáceres-Martínez, J., Tinoco-Orta, G.D., Unzueta-Bustamante, M.L., Gómez-Humaran, I.M. 1999. Relationship between the burrowing worm *Polydora* sp. and the black clam *Chione fluctifraga* (Sowerby). *J. Shellfish Res.* 18(1): 85- 89.
- Cáceres-Martínez, J. 2011. Parasitología. 257-271 pp. *En: Maeda-Martínez, A.N., Lodeiros-Seijo, C. (eds.). Biología y cultivo de los moluscos pectínidos del género nodipecten.* Editorial Limusa, México.
- Cáceres-Martínez, J., Vásquez-Yeomans, R. 2013. Enfermedades, parásitos y episodios de mortalidad de ostiones de importancia comercial en México y sus implicaciones para la producción. *Ciencia pesquera, número especial 21: 5-48.*
- Cáceres-Martínez, J., Vásquez-Yeomans, R. 2014. Manual de buenas prácticas para el cultivo de moluscos bivalvos. OIRSA-OSPESCA pp. 117.
- Cáceres-Martínez, J., Hernández-Mercado, Y., Cruz-Flores, R., Muñoz-Flores, M., Vásquez-Yeomans, R. 2016. Identification of burrowing worms and bacteria associates with shell injuries on red abalone cultured in Baja California, Mexico. *World Aquaculture* (47).
- Campbell Neil, A. y Reece, J. 2007. *Biología.* Editorial Médica Panamericana. Madrid. 1209p.
- CESAIBC. 2013. Sistemas de cultivo para la producción de ostión en Baja California, México. Recuperado en septiembre de 2020 de: [http://www.cesaibc.org/sitio/archivos/sistemas\\_280513123333.pdf](http://www.cesaibc.org/sitio/archivos/sistemas_280513123333.pdf)
- Chávez de Nishiwaka, A.G., Álvarez-Borrego, S. 1974. Hidrología de la Bahía de San Quintín, Baja California, en invierno y primavera. *Cienc. Mar.*, 1(2):31-62.
- Chambon, C., Legeay, A., Durrie, G., Gonzalez, P., Ciret, P., Massabuau, J.C. 2007. Influence of the parasite worm *Polydora* sp. on the behaviour of the oyster *Crassostrea gigas*: A study of the respiratory impact and associated oxidative stress. *Marine Biology* **152**, 329–338.
- Chávez-Villalba, J. 2014. Cultivo de ostión *Crassostrea gigas*: Análisis de 40 años de actividades en México. *Hidrobiológica* 24 (3): 175-190.
- Diez, M.E., Orensanz, J.M., Márquez, F., Cremonte, F. 2013. Shell damage in the Tehuelche scallop *Aequipecten tehuelchus* caused by *Polydora rickettsi* (Polychaeta: Spionidae) infestation. *Journal of Invertebrate Pathology*, 114: 107-113.
- Diario Oficial de la Federación. 2012. Ostión japonés, entidades con cultivo. Instituto Nacional de Pesca.
- Durazo, R., Gaxiola, G., Lavaniegos, B., Castro, R., Gómez, J., y Mascarenhas, A. 2005. Oceanographic conditions west of the Baja California coast, 2002 to 2003: A weak El Niño and subarctic water enhancement. *Ciencias Marinas.* 31(3): 537-552.
- FAO. 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Fauchald, K., Jumars, P.A. 1979. The diet of worms: A study of polychaete feeding guilds. *Oceanography and Marine Biology Annual Review.* 17:193–284.
- Galtsoff P. S. 1964. The American Oyster *Crassostrea virginica* Gmelin. *Fishery Bulletin*,64:1-480.

- Galvão, M.S.M., Pereira, O.M., Machado, I.C., Henriques, M.B. 2000. Aspectos reprodutivos da ostra *Crassostrea brasiliensis* de manguezais do estuário de Cananéia, SP (25°S - 48° W). B. Inst. Pesca 2: 147-162.
- García-Esquivel, Z., González-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.
- Glasby, C.J., Hutchings, P.A., Fauchald, K., Paxton, H., Rouse, G.W., Watson Russell, C., Wilson, R.S. 2000. Class Polychaeta. In Beesley, P. L., G. J. B. Ross & C. J. Glasby (eds), *Polychaetes & Allies: The Southern Synthesis. Fauna of Australia. Vol. 4A. Polychaeta, Myzostomida, Pogonophora, Echiura, Sipuncula*. CSIRO Publishing, Melbourne, 1–296.
- Glasby, C.J., Timm, T. 2008. Global diversity of polychaetes (Polychaeta; Annelida) in freshwater. *Hydrobiologia*. 595:107–115.
- Handley, S.J. 1995. Spionid polychaetes in Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg) from Admiralty Bay, Marlborough Sounds, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 29:305-309.
- Handley, S.J. 1998. Power to the oyster: Do Spionid-induced shell blister affect condition in subtidal oysters? *Journal of shellfish Research* 17:1093–1099.
- Handley, S.J., Bergquist, P.R. 1997. Spionid polychaete infestations of intertidal pacific oysters *Crassostrea gigas* (Thunberg), Mahurangi Harbour, northern New Zealand. *Aquaculture* 153:191-205.
- Helm, M.M.; Bourne, N.; Lovatelli, A. 2006. (comp. /ed.) “Cultivo de bivalvos en criadero. Un manual práctico”. *FAO Documento Técnico de Pesca*. No. 471. Roma, FAO. 184 pp.
- Hickman, C.P., Emeritus, Jr., Keen, S.L., Larson, A., Eisenhour, D.J., I'anson, H., Roberts, L.S. 2016. *LooseLeaf for Integrated Principles of Zoology*. McGraw-Hill Education. 912pp.
- Hickman, R.W y Illingworth, J. 1980. Condition cycle of the green-lipped mussel *Perna canaliculus* in New Zealand. *Marine Biology*. 60: 27-37.
- Jun, L., Woo, N.Y.S. 2003. Pathogenicity of vibrios in fish: an overview. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2(2): 117–128.
- Islas-Olivares, R. 1975. El ostión japonés (*Crassostrea gigas*) en Baja California. *Ciencias Marinas* 2: 58-59.
- Lauckner, G. 1983. Diseases of Mollusca: Bivalvia. pp. 805-817. En: O. Kinne (ed.). *Diseases of marine animals. Volume II: Introduction, Bivalvia to Scaphopoda*. Hamburg: Biologische Anstalt Helgoland.
- Lenz, T., Boehs, G. 2011. Ciclo reproductivo del ostión de manglar *Crassostrea rhizophorae* (Bivalvia: Ostreidae) en la Bahía de Camamu, Bahia, Brasil. *Revista de Biología tropical*, 59.
- Leonart, M. 2001. Australian Abalone Mudworms: Avoidance and Identification. A Farm Manual. Fisheries Research and Development Corporation, Project, 98-301.
- Lucas, A., Beninger, P.G. 1985. The use of physiological condition indices in marine bivalve aquaculture. *Aquaculture* 44: 187-200.

- Martinelli, J.C., Lopes, H.M., Hauser, L., Jimenez-Hidalgo, I., King, T.L., Padilla-Gamiño, J.L., Rawson, P., Spencer, L.H., Williams, J.D., Wood, C.L. 2020. Confirmation of the Shell-boring oyster parasite *Polydora websteri* (Polychaeta: Spionidae) in Washington State, USA. *Nature Research*, 10: 3961.
- Nel, R., Coetzee, P.S., Van Niekerk, G. 1996. The evaluation of two treatments to reduce mud worm (*Polydora hoplura* Claparede) infestation in commercially reared oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg). *Aquaculture*, 141: 31-39.
- Paniagua-Chávez, C.G., Acosta-Ruiz, M.J. 1995. Desarrollo gonadal de *Crassostrea gigas* en Bahía San Quintín, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 20 (2): 225-242.
- Ocampo Torres, F. 1980. Análisis de mareas y predicción de velocidad mediante un modelo unidimensional en Bahía San Quintín, B.C. México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, UABC. Ensenada B.C. México. 94 p.
- Pauley, G.B., van Der Raay, B., Troutt, D. 1988. Species profiles: life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (Pacific Northwest)—Pacific oyster. U. S. Fish Wildl. Serv. Biol. Rep., 82(11.85). U. S. Army Corps of Engineers, TR EL-82.4. 28pp.
- Quayle, D.B. 1988. Pacific oyster culture in British Columbia. *Canadian Bull. of Fish. and Aquatic Sciences* 218:241 pp.
- Radashevsky, V.I., Olivares, C. 2005. *Polydora uncinata* (Polychaeta: Spionidae) in Chile: an accidental transportation across the Pacific. *Biological invasions*, 7: 489-496.
- Radashevsky, V.I., Lana, P.C., Nalesso, R.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.
- Ramírez-Esteban, J. 2020. Distribución, abundancia y estrategia de desarrollo larval de polidóridos (Polychaeta: Spionidae) en Bahía San Quintín, B.C. Tesis de maestría en ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. 55 pp.
- Royer, J., Ropert, M., Mathieu, M., Costil, K. 2006. Presence of spionid worms and other epibionts in Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) cultured in Normandy, France. *Aquaculture* 253: 461-474.
- Ruellet, T. 2004. Infestation des coquilles d'huîtres *Crassostrea gigas* par les polydores en Basse-Normandie: recommandations et mise au point d'un traitement pour éliminer cette nuisance. Caen Basse-Normandie 536. PhD thesis, Université de Caen/ Basse-Normandie, Caen.
- Russell, F.S. 1967. Parasites of commercially important marine molluscs: The phylum Mollusca. *Advances in Marine Biology* (5):276-285
- Sambrook, J., Russell, D.W. 2001. *Molecular cloning: A laboratory manual*. (3rd ed.) Cold Spring Harbor Laboratory Press, New York.
- Sato-Okoshi, W., Abe, H. 2012. Morphological and molecular sequence analysis of the harmful shell boring species of *Polydora* (Polychaeta: Spionidae) from Japan and Australia. *Aquaculture*, 368-369: 40-47.

- Sato-Okoshi, W., Abe, H. 2013. Morphology and molecular analysis of the 18S rRNA gene of oyster shell borers, *Polydora* species (Polychaeta: Spionidae), from Japan and Australia. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 93 (5):1279-1286.
- 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.
- SEPESCA. 2018. Boletín Estadístico. Reporte de producción pesquera y acuícola de Baja California. Información 2017 cierre anual preliminar.
- Silina, A. V. 2006. Tumor-like formations on the shells of Japanese scallops *Patinopecten yessoensis* (Jay). *Marine Biology*, 148, 833–840.
- Silina, A.V., Zhukova, N.V. 2009. Topical and trophic relationships in a boring polychaete-scallop association: fatty acid biomarker approach. *Marine Ecology Progress Series*, 394, 125–136.
- Simon, C.A. 2011. *Polydora* and *Dipolydora* (Polychaeta: Spionidae) associated with molluscs on the south coast of South Africa, with descriptions of two new species. *African Invertebrates*, 52 (1) : 39-50.
- Tapia-Vázquez, O., González-Alcalá, H.M., Sáenz-Gaxiola, L.M., García-Hirales, R. 2008. Manual de Buenas Prácticas en Granjas Ostrícolas de San Quintín B.C. México. CESAIBC. A.C. (SAGARPA- CONAPESCA). Ensenada. 36p.
- Tinoco-Orta, G.D., Cáceres-Martínez, J. 2003. Infestation of the clam *Chione flustrifaga* by the burrowing worm *Polydora* sp nov. in laboratory conditions. *Journal of Invertebrate Pathology* 83: 196-205.
- Tirapé, A., Bacque, C., Brizard, R., Vandenbulcke, F., Boulo, V. Expression of immune-related genes in the oyster *Crassostrea gigas* during ontogenesis. *Developmental y Comparative Immunology*, 31: 859-873.
- Walker, L.M. 2011. A review of the current status of the *Polydora*-complex (Polychaeta: Spionidae) in Australia and a checklist of recorded species. *Zootaxa*, 2751: 40-62.
- Zajac, R.N. 1991. Population ecology of *Polydora ligni* (Polychaeta: Spionidae) I. Seasonal variation in population characteristics and reproductive activity. *Mar. Ecol., Prog. Ser.* 77, 197–206.
- Zarain Herzberg, M. y Villalobos Fernández, C. 2012. Manual de Operación y Manejo Biológico del Cultivo de Ostión. Centro de Ciencias de Sinaloa. 48pp.
- Zottolli, R.A., Carriker, W.R. 1974. Burrow morphology, tube formation, and microarchitecture of shell dissolution by the Spionid Polychaeta *Polydora websteri*. *Mar. Biol.* 27:307-316.