



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE QUINTANA ROO

## DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

---

“POSIBLES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS  
POLIQUETOS DE LA ESPECIE *Laeonereis culveri* (WEBSTER  
1879).”

---

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

**INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTA

**DIANA BELEN POOT MAY**

DIRECTOR

**DR. VÍCTOR HUGO DELGADO BLAS**

ASESORES

**DRA. MARTHA GUTIÉRREZ AGUIRRE**

**DRA. JENNIFER DENISSE RUIZ RAMÍREZ**

**MEM. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUCIO**

**DRA. NORMA ANGÉLICA OROPEZA GARCIA**



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2022





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

**DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

TRABAJO DE TESIS TITULADO

“POSIBLES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS POLIQUETOS DE LA ESPECIE *Laeonereis culveri* (WEBSTER 1879).”

ELABORADO POR

**DIANA BELEN POOT MAY**

BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**COMITÉ DE TESIS**

DIRECTOR:

  
DR. VÍCTOR HUGO DELGADO BLAS

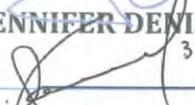
ASESOR:

  
DRA. MARTHA GUTIÉRREZ AGUIRRE

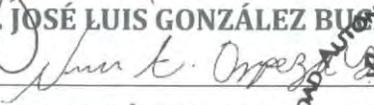
ASESOR:

  
DRA. JENNIFER DENISSE RUIZ RAMÍREZ

ASESOR SUPLENTE:

  
MEM. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUSTO

ASESOR SUPLENTE:

  
DRA. NORMA ANGÉLICA OROPIZA GARCÍA



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2022



## **DEDICATORIA**

---

**“PARA MIS PADRES, GRACIAS POR TODO SU APOYO, SU  
PACIENCIA, SU CONFIANZA Y AMOR INCONDICIONAL; SIN  
USTEDES NO HABRÍA SIDO CAPAZ DE TERMINAR ESTE  
PROYECTO; CON TODO MI AMOR Y ESFUERZO PARA USTEDES;  
ESTE LOGRO TAMBIEN ES SUYO, LOS AMO INMENSAMENTE”**

## AGRADECIMIENTOS

---

El sentarse a escribir estas líneas es meramente satisfactorio, el camino se ve lejano, pero la llegada es dulce. Hay tantas personas a las que quiero agradecer que incluso parece difícil recordar a todos, gracias enormemente a cada uno de ustedes.

Quiero agradecer primeramente a Dios por darme la vida y permitirme llegar a este punto en el que puedo concluir satisfactoriamente esta meta, gracias por los padres y la familia que me ha dado, y por todas las bendiciones que me ha dado en la vida. También quiero agradecer a mi familia por creer que esto era posible, ustedes han sido mi motor y mi apoyo a través de este proyecto, gracias a mi hermano por soportar el ruido de todas las bombas conectadas, y mi hermana por llegar a subirme el ánimo en el momento adecuado, los amo familia.

Quiero agradecer especialmente al Dr. Víctor Hugo Delgado Blas, a quien admiro enormemente, por aceptar ser mi asesor, tomarme bajo su ala e instruirme, sin sus consejos y sabiduría no hubiera podido llegar tan lejos, gracias también por su apoyo incondicional y su motivación a lo largo de los años y gracias por sus clases impartidas durante la carrera; su humildad, su amor por la enseñanza y su dedicación es un aliento muy grato para crecer profesional y personalmente, usted es mi ejemplo por seguir.

Quiero agradecer a Claudia por ser mi amiga y compañera en este proyecto, ¡lo logramos!, gracias por tomar este proyecto conmigo y motivarnos juntas en los momentos de desánimo, estos meses nos ha hecho crecer y madurar juntas, gracias por tu amistad; también agradecer a mis amigos Irving, Gezer, Aída, Jimena, Sergio, Alejandra y Harumi, porque las clases sin ustedes no habrían sido las mismas, gracias por su apoyo a lo largo de los años, por permitirme conocerlos y amarlos; los voy a atesorar en mi corazón siempre. Gracias también a mi amiga Elsy, por ser mi confidente por tantos años, por crecer juntas y madurar, y apoyarme en cada una de mis decisiones, por las palabras de ánimo y por confiar en que podía

lograrlo. También quiero agradecer a Javier por ser nuestro apoyo en la recolección de muestras, sin su ayuda, la recolección hubiera sido más tardada.

Gracias a mi amigo Fernando por motivarme a tomar este proyecto y ayudarme a dejar de dudar de misma.

Por último, quiero agradecer a mi mejor amiga Anahí, este proyecto también es tuyo; sin tu ánimo, tu apoyo incondicional, tus palabras sabias, tus consejos, tus regaños, y tu amor, nada de esto habría empezado siquiera, sobre todo gracias por tu confianza en mí, me hiciste creer en que podía lograrlo. Gracias por ser mi hermana y mi mano derecha en todo momento, hay tantas cosas que podría decirte, pero solo diré que te amo eternamente, y que los años nos permitan seguir creciendo juntas, profesional y personalmente, que vengan más logros para las dos.

Gracias al Dr. Russell, por tomarse el tiempo y ayudarme en los análisis estadísticos, por su paciencia y su dedicación para enseñarnos a través de la distancia y por tomarse el tiempo de revisar mi documento, por sus comentarios y correcciones.

También quiero tomar un espacio para agradecer al biólogo Humberto Bahena, por ayudarme con su equipo, tomar las fotos y poder conseguir estas increíbles fotografías.

Gracias a mi comité de tesis por realizar la revisión a este trabajo, gracias por sus comentarios y sus observaciones para llegar a un trabajo de calidad.

Gracias al M.C. Jaime Alfredo Castillo Rodríguez por su ayuda profesional y personal, por tomarse el tiempo y ayudarme a resolver todas las dudas que tenía, y por facilitarme el material del laboratorio.

La tesis fue parcialmente financiada por CONACYT del Fondo Sectorial de Investigación Ambiental (grant SEMARNAT-CONACYT A3-S-733811). Agradezco su apoyo en este trabajo.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE</b>	<b>PÁGINA</b>
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
INDICE DE ANEXOS.....	XII
RESUMEN.....	2
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b>	
1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.2 ANTECEDENTES.....	8
<b>CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
2.1. OBJETIVO.....	11
2.1.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
2.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	11
2.2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	11
2.3. HIPÓTESIS.....	12

2.4. JUSTIFICACIÓN.....	12
-------------------------	----

### **CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. MUESTREO.....	15
3.2. LABORATORIO.....	17
3.3. ACLIMATACIÓN.....	17
3.4. PRUEBA DE BIOENSAYO.....	18
3.5. LA SALINIDAD EN LA REGENERACIÓN.....	19
3.6. LA TEMPERATURA EN LA REGENERACIÓN .....	20
3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	21

### **CAPÍTULO IV. RESULTADOS**

4.1. COMPORTAMIENTO GENERAL DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICO.....	24
4.2. PORCENTAJE DE SETÍGEROS REGENERADOS CON RESPECTO A LA SALINIDAD. .....	25
4.3. PORCENTAJE DE MORTALIDAD CON RESPECTO A LA SALINIDAD.....	27
4.4. COMPARACIÓN ENTRE LOS TRATAMIENTOS Y EL CONTROL (SALINIDAD).....	30
4.5. PORCENTAJE DE SETÍGEROS REGENERADOS CON RESPECTO A LA TEMPERATURA. .....	31
4.6. PORCENTAJE DE MORTALIDAD CON RESPECTO A LA TEMPERATURA.....	34
4.7. COMPARACIÓN ENTRE LOS TRATAMIENTOS Y EL CONTROL (TEMPERATURA) .....	36

<b>CAPÍTULO V. DISCUSIONES.....</b>	<b>39</b>
-------------------------------------	-----------

<b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>47</b>
<b>CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>49</b>
<b>CAPÍTULO VIII. REFERENCIAS.....</b>	<b>51</b>
<b>CAPÍTULO IX. ANEXOS.....</b>	<b>62</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. La Bahía de Chetumal e imagen Google Earth TM de la Península de Yucatán (Obtenido de: Castelblanco-Martínez, 2010). .....	16
Figura 2. Localización geográfica del sitio de muestreo en la bahía de Chetumal, Quintana Roo (Obtenido de: Google Earth ©2022 INEGI. ....	17
Figura 3. Porcentaje de regeneración de todos los tratamientos obtenido por semana. ....	25
Figura 4. Porcentaje de setígeros regenerados en salinidad. ....	26
Figura 5. Porcentaje total de setígeros regenerados por tratamiento. ....	26
Figura 6. Regeneración posterior de <i>L. culveri</i> . Registro fotográfico del proceso de regeneración a 7 (columna izquierda) y 21 días (columna derecha) después de la amputación a 24 g/L (A Y B; mayor regeneración) y 32 g/L (CY D; menor regeneración). ....	28
Figura 7. Porcentaje de mortalidad de todos los tratamientos obtenidos por semana. ....	28
Figura 8. Porcentaje de mortalidad en las pruebas de salinidad. ....	29
Figura 9. Porcentaje total de mortalidad en las pruebas de salinidad. ....	29
Figura 10. Comparación entre los tratamientos y el control en los bioensayos de salinidad. ....	30
Figura 11. Porcentaje de regeneración de todos los tratamientos obtenido por semana. ....	32
Figura 12. Porcentaje de setígeros regenerados con diferentes temperaturas. ....	32
Figura 13. Porcentaje total de setígeros regenerados por tratamiento. ....	33

<b>Figura 14. Regeneración posterior de <i>L. culveri</i>. Regeneración posterior de <i>L. culveri</i>. Registro fotográfico del proceso de regeneración a 7 (columna izquierda) y 21 días (columna derecha) después de la amputación a 30°C (A Y B; mayor regeneración) y 34°C (C Y D; menor regeneración).</b>	<b>34</b>
<b>Figura 15. Porcentaje de mortalidad de todos los tratamientos obtenidos por semana.</b>	<b>35</b>
<b>Figura 16. Porcentaje de mortalidad en pruebas de temperatura.</b>	<b>35</b>
<b>Figura 17. Porcentaje total de mortalidad en las pruebas de salinidad.</b>	<b>36</b>
<b>Figura 18. Comparación de los valores de regeneración entre los tratamientos y el Control en los bioensayos de temperatura.</b>	<b>37</b>

## **ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1. Parámetros ambientales registrados durante las pruebas de Salinidad y Temperatura. ....</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 2. Rango Inter-Cuartil (RIC) de las pruebas de salinidad (Dispersión de los datos). ....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 3. Rango Inter-Cuartil (RIC) de las pruebas de temperatura (Dispersión de datos). ....</b>	<b>37</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

Figura 19. Recolección de <i>Laeonereis culveri</i> en el sitio de muestreo. .....	62
Figura 20. Identificación de los organismos obtenidos en el muestreo. .....	63
Figura 21. Preparación del sedimento para los organismos.....	63
Figura 22. Preparación de materiales para los bioensayos.....	64
Figura 23. Inicio de las pruebas de salinidad. ....	65
Figura 24. Inicio de las pruebas de temperatura. ....	65
Figura 25. <i>Laeonereis culveri</i> . ....	66

---

---

# **RESUMEN**

---

---

## RESUMEN

---

El cambio climático es uno de los mayores problemas del presente siglo, causando una gran afectación en todos los seres vivos a corto, mediano y largo plazo, llegando a afectar su desarrollo, fisiología, y comportamientos durante las fases de crecimiento, reproducción y migración, entre otros. A través de este estudio se busca identificar los daños que puede ocasionar el incremento y la disminución de temperatura y salinidad sobre la especie *Laeonereis culveri*, específicamente en su regeneración corporal y sobrevivencia. Debido a la complejidad que conlleva el realizar estudios en su medio natural, estas pruebas fueron realizadas mediante bioensayos estáticos en un período de 28 días (tiempo en que se observó la regeneración completa), tomando en cuenta las condiciones fisicoquímicas de su ambiente y los peores escenarios estimados para el año 2100. Los resultados demostraron que esta especie es muy tolerante a las variaciones de salinidad, sin embargo, al incrementarse la salinidad disminuye la regeneración del cuerpo, ya que la menor regeneración con el 14% se presentó a 32 g/L y las mayores regeneraciones de setígeros con un 19% se presentaron al disminuir la salinidad a 8, 18, y 24 g/L; así mismo la especie presentó el 16% de mortalidad en salinidades de 8, 18, 24, 28 y 32 g/L, excepto en la salinidad de 14 g/L que presentó el 20% asociado a factores no controlados. Con respecto a la temperatura *Laeonereis culveri* presentó una regeneración óptima a temperaturas cálidas (26 y 30°C); mientras que el aumento o descenso en las temperaturas extremas disminuyó la regeneración en la especie; la menor regeneración del cuerpo con el 16 y 17% se presentaron en la mayor y menor temperatura de 34°C y 22°C, respectivamente; y la mayor regeneración del 28 y 21% se presentaron en temperaturas de 30 y 26°C, respectivamente, la especie es capaz de sobrevivir a bajas temperaturas, sin embargo, al incrementar la temperatura más allá de las óptimas la mortalidad aumenta; la mayor mortalidad del 32% se presentó en la máxima temperatura expuesta de 34°C; y la menor mortalidad con el 13% se presentó a 30°C y 22°C. Es recomendable realizar más estudios con parámetros representativos del cambio climático (temperatura, salinidad, pH) en organismos marinos representativos de la región (poliquetos, peces, crustáceos, moluscos, plantas acuáticas, entre otros) con el fin de obtener más información de los posibles efectos del cambio climático en los ecosistemas acuáticos de esta zona geográfica.

---

---

# **CAPÍTULO I.**

# **INTRODUCCIÓN**

---

---

## I. INTRODUCCIÓN

---

El cambio climático es uno de los mayores problemas del presente siglo, causando el calentamiento en los océanos, el aumento del nivel del mar y la acidificación del ambiente marino, entre otras problemáticas como, modificaciones de los patrones de precipitación, cambios de intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos (IPCC, 2014). Además de la disminución del oxígeno disuelto en el ambiente acuático, y el aumento de los fenómenos meteorológicos extremos como El Niño y La Niña, de acuerdo con las proyecciones estimadas, se debilitará la Circulación Meridional de Retorno del Atlántico (AMOC, por sus siglas en inglés), el cual agravará las condiciones ambientales con consecuencias globales (IPCC, 2019). Esta problemática ha llegado a afectar tanto a la vida humana como a las especies presentes en todo el planeta. Se prevé que el cambio climático tendrá importantes efectos sobre la biodiversidad, y consecuencias de efectos directos sobre las poblaciones y comunidades que dependen de la agricultura, la pesca, el turismo, y demás actividades económicas que, de una u otra forma, requieren de la conservación de los recursos biológicos y ecosistémicos (Uribe, 2015).

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) ha determinado que el cambio climático ocasionará aumentos paulatinos en la temperatura promedio de la superficie de la tierra y de los océanos. Se estima que, para finales del siglo XXI, el aumento de la temperatura de la superficie terrestre podría estar entre 2.6 y 4.8°C (IPCC, 2014). Mientras que para la superficie oceánica se espera que tenga un aumento del 1.5 a 2.4°C con una media de 2°C para el año 2031-2050, y para el peor escenario predicho para finales del siglo (2081-2100) se espera que aumente de 3.2 a 5.4°C con una media de 4.3°C; con un aumento medio del nivel del mar de 1 m para el año 2100 y 3.5 m para el año 2300 (IPCC, 2019). De igual manera, el incremento del calentamiento amplifica la exposición de las islas pequeñas, las zonas costeras bajas y los deltas a los riesgos asociados al aumento del nivel del mar para muchos sistemas humanos y ecológicos, como las intrusiones de agua salada, las inundaciones y los daños en la infraestructura (IPCC, 2019). También, existe un grado de confianza alto en que

por efecto del cambio climático y del calentamiento de la atmósfera, los sistemas hidrológicos sufren importantes cambios, entre los que cabe señalar, el incremento de las escorrentías hacia los ríos y lagos. Los cambios en los sistemas biológicos marinos y de agua dulce también están condicionados por el incremento de la temperatura del agua y de la salinidad, de los niveles de oxígeno disuelto y de la circulación de las propias aguas (Useros-Fernández, 2013). Se espera que la magnitud de los impactos asociados al cambio climático sea mayor en unas regiones que en otras; incluidos el Mediterráneo, Asia occidental, Asia nororiental, gran parte de África, el sureste de Australia; muchas partes de América del Sur, la zona central de América del Norte; y en especial América Latina y el Caribe que tienen dos características que hacen que el estudio de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad resulte particularmente relevante en estas regiones; en la región de América Latina y Caribe se encuentran algunos de los países más biodiversos del mundo con una amplia biodiversidad tanto terrestre como marina (Morales-Ramírez & Caviedes, 2016); entre ellos Brasil, Colombia, México y Perú (Székely, 2009; CEPAL, 2010; Uribe, 2015; IPCC, 2019). Se han identificado 178 regiones ecológicas que representan más del 50% de la biodiversidad del planeta; y se encuentran los hábitats del 40% de las especies de flora y fauna del mundo; los cuales son más susceptibles a los efectos del cambio climático debido a que por sus particulares características fisiológicas y fenológicas, están adaptadas a nichos ecológicos estrechos (IPCC, 2002; citado por Uribe-Botero, 2015).

Es necesario identificar los daños que el cambio climático ha ocasionado y que continúa ocasionando en los organismos terrestres y acuáticos, especialmente en organismos marinos, que están siendo afectados tanto de forma fisiológica como biológica. De acuerdo con Barange y Perry (2009), la magnitud de los impactos acumulativos en los océanos es mayor que lo que se había asumido en años anteriores, y se espera un incremento acelerado de la extinción de especies marinas. Se prevé que el cambio climático tendrá efectos directos sobre los organismos a nivel individual, sobre las poblaciones y los ecosistemas. En cuanto a los individuos, se ha encontrado que el cambio climático podría afectar su desarrollo, fisiología y sus comportamientos durante las fases de crecimiento,

reproducción y migración. Por otra parte, también es probable que la modificación en los patrones de precipitación y el aumento de la temperatura afecten la distribución, tamaño, estructura y abundancia de las poblaciones de algunas especies (Böhning-Gaese *et al.*, 2008).

Los cambios en los sistemas biológicos marinos y de agua dulce están condicionados por el incremento de la temperatura del agua, de la salinidad, de los niveles de oxígeno y de la circulación de las propias aguas (Useros-Fernández, 2013). Los efectos del cambio climático ya se observan en los arrecifes coralinos y en la productividad de las aguas, disminuyendo así la pesca en algunas regiones. El plancton, base de las cadenas alimentarias, también se está viendo afectado. Muchas especies tropicales están “conquistando” regiones provenientes más frías, pero que actualmente se han calentado. Por otra parte, el calentamiento está provocando cambios en el nivel del mar, esto tiene efectos en la biota costera en las zonas entre mareas, lo que podría provocar en el mediano plazo pérdida de su biodiversidad (Morales-Ramírez & Caviedes, 2016). Los estudios que evalúan los efectos de los cambios de temperatura y salinidad sobre los organismos marinos están en aumento (Matozzo *et al.*, 2012). Sin embargo, la mayoría de los estudios sobre los efectos del cambio climático están dedicados a los organismos marinos como bivalvos (Anacleto *et al.*, 2014; Jansson *et al.*, 2013; Matozzo *et al.*, 2013), peces (Zhang *et al.*, 2010; Abdo-de la Parra *et al.*, 2012) crustáceos (Lagerspetz y Vainio, 2006; Hernandez-Sandoval, 2008; Puente-Carreón, E., 2011; Valenzuela-Quíñonez, *et al.*, 2017) y pocos enfocados en anélidos (Pires *et al.*, 2015; Freitas *et al.*, 2015).

Los poliquetos son un grupo importante de organismos que habitan el ambiente marino pero la mayoría de los estudios se encuentran centrados en la bioacumulación y alteraciones bioquímicas que estos generan (Ferreira-Cravo, 2006; Sole, *et al.*, 2009; Sardo, *et al.*, 2011; Zapata-Vívenes, *et al.*, 2017) poco se sabe respecto a las alteraciones fisiológicas, es decir, de su capacidad regenerativa (Pires *et al.*, 2015). Aunque muchos invertebrados bentónicos marinos regeneran el tejido perdido con el tiempo, las lesiones pueden disminuir la tasa de crecimiento,

la reproducción y cambiar el comportamiento o la eficiencia de la alimentación (Kamermans y Huitema, 1994; Zajac, 1995; Ramsay *et al.* 2001; Lindsay *et al.*, 2008; citado por Licciano *et al.*, 2012). Lindsay (2010) menciona que los tejidos regenerados pueden distinguirse fácilmente por su naturaleza blanca y delicada de los tejidos más gruesos de color crema o marrón de la pieza original, sin embargo, después de dos o tres meses, se vuelve imposible distinguir por color entre segmentos regenerados y no regenerados y no se puede determinar el porcentaje total de gusanos que han regenerado las partes faltantes, lo que sugiere que los individuos pueden ser recortados repetidamente y, por lo tanto, contribuir con más tejido a niveles tróficos más altos de lo que se pensaba anteriormente.

En el presente estudio se identificó los efectos que la salinidad y la temperatura tienen sobre la regeneración corporal de los poliquetos tomando como especie de prueba a *Laeonereis culveri* perteneciente a la familia Nereididae (Lamarck, 1818) del cual poco se sabe sobre su capacidad regenerativa, sin embargo, entre los nereididos, dorvilleidos y polinoidos, se ha demostrado que las especies de estas familias de poliquetos presentan una regeneración posterior (Bely, 2006). Esta especie epifaunal tiene una amplia distribución en el bentos, habita en zonas salobres de estuarios y fosas de marea arenosas, es un animal considerado como monitor del ambiente, el cual destaca por su frecuencia y dominio tanto en ambientes contaminados y no contaminados (de León-González, 1997; Ferreira-Cravo, 2006); no tienen mucha movilidad y por lo tanto se pueden reflejar los problemas del ambiente en que habitan; por otro lado son de fácil recolección para laboratorio y mantenimiento (Geracitano *et al.*, 2000; citado por Ferreira-Cravo, 2006), también es identificada como una especie de gran importancia ecológica por su tipo de alimentación y amplia distribución geográfica en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México (Delgado-Blas *et al.*, 2011). Además, forman parte de la dieta de peces de importancia económica y macroinvertebrados bentófagos de la región, por lo que estos organismos son relativamente fáciles de muestrear en la bahía (Uc-Peraza y Delgado-Blas, 2012).

## 1.2. ANTECEDENTES.

Pires *et al.* (2015), determinaron como el cambio de temperatura, salinidad y pH repercuten sobre la regeneración de los poliquetos de la especie *Diopatra neapolitana* (Annelida, Onuphidae) y como alterando individualmente estos parámetros pueden acelerar o disminuir la regeneración completa en un menor o mayor número de días.

Freitas *et al.* (2015), evaluaron el impacto de los cambios de salinidad en la capacidad regenerativa y las alteraciones bioquímicas de la especie *D. neapolitana* (Annelida, Onuphidae) demostrando que los organismos expuestos a condiciones de salinidad extrema presentaron tasas de mortalidad más alta, y necesitando más días para regenerar completamente la región corporal faltante y la regeneración de un menor número de setígeros, además de que estos organismos presentaron un contenido significativamente menor de glucógeno y proteína, entre otros. Los efectos de una lesión interfieren sobre el comportamiento, la alimentación, el crecimiento, la supervivencia o la reproducción de un individuo, lo cual contribuye a los impactos ecológicos a mayor escala de las lesiones, como el reclutamiento, el crecimiento de la población, el acoplamiento bentónico-pelágico y el flujo de energía (Lindsay, 2010).

Hernández-Sandoval (2008), evaluó el crecimiento y la sobrevivencia del langostino *Macrobrachium occidentale* y del acocil *Cherax quadricarinatus* al exponerlos a diferentes temperaturas (20, 25, 28 y 30 °C), concluyendo que la mejor combinación de crecimiento y sobrevivencia para el langostino se presentó en un intervalo de 18 a 25 °C y para el acocil la mejor combinación de crecimiento y sobrevivencia se presentó a 28°C.

Herrera-Pérez y Méndez (2019), determinaron la mortalidad en dos rangos de temperatura y salinidad para las condiciones óptimas del cultivo de *Capitella sp.* (Polychaeta: Capitellidae). El primer rango presentaba condiciones de temperatura (20-22° C) y salinidad (30-32 g/L) similares al sitio de muestreo, siendo

determinados de acuerdo con aproximaciones de los valores de temperatura y salinidad medidos en el campo durante esa época del año; noviembre 2016, donde la temperatura superficial promedio del mar fue 26.5°C, la salinidad de 32.2 ups y el oxígeno disuelto de 5.04 mg/L; en este rango se pudo observar una mayor sobrevivencia en comparación a los organismos expuestos en el segundo rango con parámetros más elevados (temperatura de 24 a 26° C y salinidad de 32 a 34 g/L) a la de sus condiciones naturales obtenidos de bibliografías citadas, determinando que para el cultivo de esta especie lo ideal era mantenerlos en condiciones similares a los de su ambiente.

---

---

# **CAPÍTULO II.**

# **PLANTEAMIENTO DEL**

# **PROBLEMA**

---

---

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

---

### 2.1. OBJETIVOS.

#### 2.1.1. OBJETIVO GENERAL.

Identificar los efectos de la temperatura y salinidad en el contexto del cambio climático utilizando a la especie de poliqueto *Laeonereis culveri* como organismo de prueba.

#### 2.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar las temperaturas y salinidades en que los organismos se regeneran más rápido.
- Determinar el tiempo (días) en que estos organismos presentan una regeneración completa al exponerlos a las diversas temperaturas y salinidades.
- Determinar las temperaturas y salinidades en que se presenta una mayor mortalidad.

### 2.2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.

- ¿Cómo afecta la variabilidad de los parámetros de temperatura y salinidad en el tiempo que dura la regeneración?
- ¿En qué temperatura y salinidad se presenta una regeneración más rápida?
- ¿Qué sucede cuando los poliquetos no son capaces de tolerar los diversos cambios de temperatura y salinidad?

## **2.3. HIPÓTESIS.**

Los cambios en los parámetros fisicoquímicos presentes en el medio acuático podrían causar alteraciones fisiológicas en los poliquetos afectando el tiempo de regeneración de estos organismos y su sobrevivencia. A través de esta investigación se espera que el aumento y disminución de la temperatura y la salinidad de lugar a una regeneración más lenta, haciendo que se necesite más días para una regeneración completa, y sea una menor cantidad de setígeros regenerados, de igual manera se espera que no sean capaces de tolerar los cambios fuertes y presenten mortalidad.

## **2.4. JUSTIFICACIÓN.**

Los poliquetos son un grupo de organismos que juegan un papel importante en el equilibrio ambiental del sistema acuático. Estos ayudan a la deposición, descomposición, incorporación y recambio de materia orgánica en el lecho marino, contribuyendo al reciclaje de nutrientes de la columna de agua. Además, forman parte importante de la cadena trófica siendo parte de la dieta de diversos animales, entre los que se encuentran invertebrados y peces, en muchos casos son el alimento de especies de importancia comercial, son muy importantes para los ecosistemas acuáticos debido a que funcionan como consumidores primarios y degradadores. También, pueden ser denominados indicadores del grado de conservación y/o de contaminación (bioindicadores) de ciertos ecosistemas, han sido considerados como base de diversos estudios ambientales utilizados en monitoreos de ambientes marinos por ser organismos tanto sensibles como tolerantes a cambios naturales o cambios inducidos por el hombre, siendo también indicadores de efectos agudos y crónicos de diversos contaminantes.

Estos organismos como muchos otros han sido afectados por el cambio climático de manera directa e indirecta, dañando el funcionamiento de su metabolismo, afectando la fisiología, morfología, creando cambios en el

comportamiento de los individuos, y llegando a afectar las poblaciones en su distribución y abundancia, sus comunidades, sobre las especies y en los ecosistemas en los que se encuentran.

Específicamente en los poliquetos, los estudios realizados evaluando la regeneración son limitados, y debido a la complejidad que conlleva el estudiarlas en su medio natural, es necesario realizar bioensayos bajo condiciones controladas de laboratorio en el que se pueda observar e identificar los daños y afectaciones que estos cambios del ambiente pueden tener sobre su regeneración corporal, midiendo parámetros que representan el cambio en el medio natural como el aumento de temperatura y salinidad teniendo así un marco de referencia de cómo estos cambios han ido afectando a corto, mediano y/o largo plazo. Es necesario identificar los efectos que las alteraciones climáticas producen, con el fin de entender como la biodiversidad puede verse afectada y al mismo tiempo realizar esfuerzos para su conservación.

---

---

# **CAPÍTULO III.**

# **MATERIALES Y**

# **MÉTODOS**

---

---

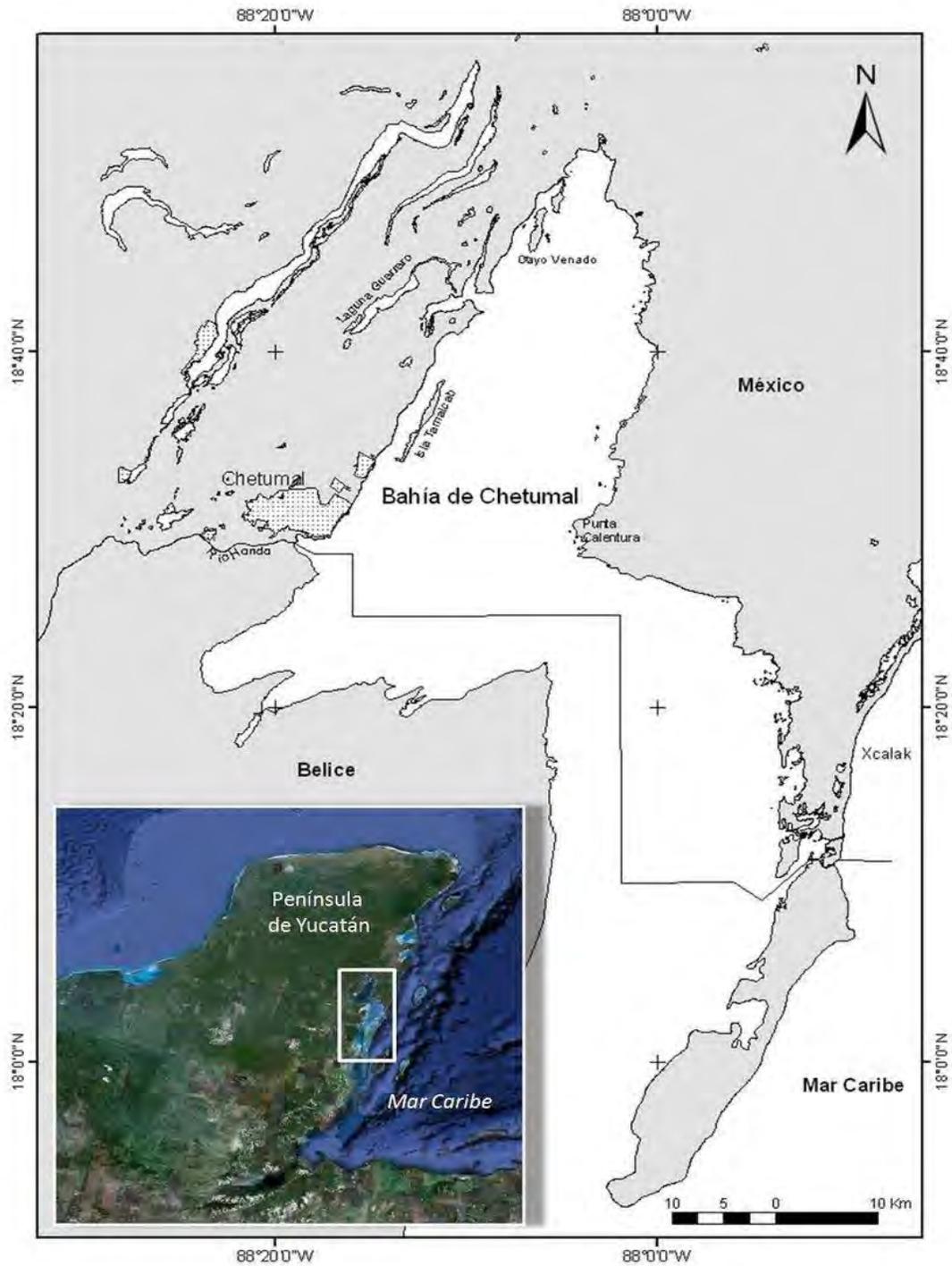
### III. MATERIALES Y MÉTODOS

---

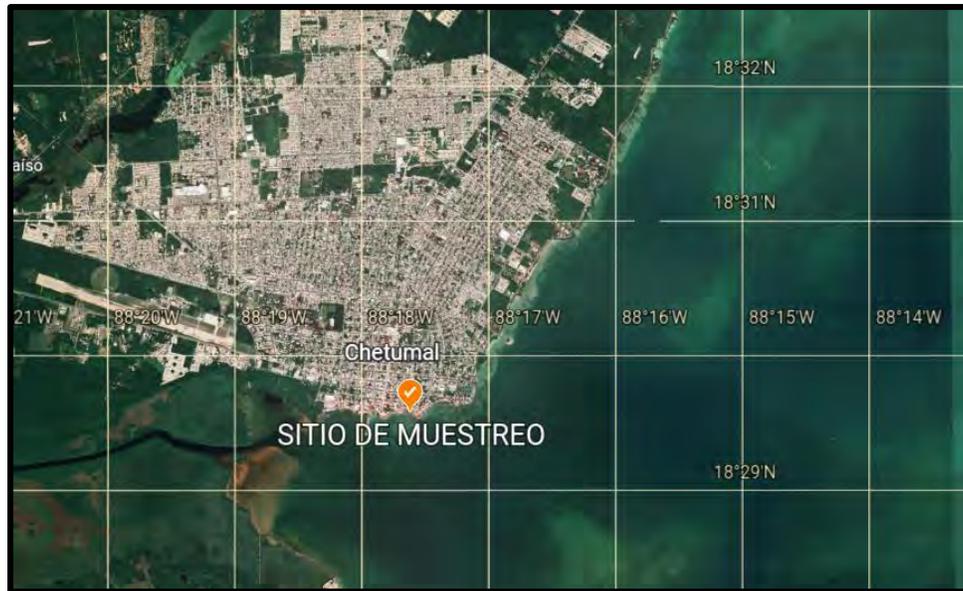
#### 3.1. MUESTREO.

Para la realización de este estudio fueron utilizados organismos de la especie *Laeonereis culveri* recolectados en la bahía de Chetumal, Q. Roo, México (18°29'34" N, 88°17'37" W), durante la marea baja, sin sitios de descarga de aguas residuales cerca (Figura 1 y 2). Estos poliquetos fueron obtenidos mediante un nucleador de PVC de 25 cm de longitud y 11 cm de diámetro y dos tamices con una abertura de malla de 1 y 0.5 mm respectivamente, extraídos con pipetas de plástico de 3 mL. Los cuales fueron trasladados al laboratorio en viales, cada uno de ellos contenía entre 1 y 3 organismos con agua del sitio de muestreo, esto con la finalidad de no saturar cada vial y así evitar que se enrosquen entre ellos y se estresen, evitando de igual manera fragmentarlos. Con el nucleador fue obtenido sedimento del lugar, trasladado en una bolsa de plástico sellada para evitar que se derrame y fue recolectado agua del sitio de muestreo en un galón de 20 L para utilizarlo durante la aclimatación y en los bioensayos (Uc-Peraza, 2009; Uc-Peraza y Delgado-Blas, 2012).

Cabe destacar que también fueron medidos los parámetros fisicoquímicos en el lugar de recolección como la temperatura, con un termómetro; la salinidad con un medidor de salinidad ST 20 S de la marca OHAUS, la conductividad y el pH con el medidor HI 991001 de la marca HANNA, y para el oxígeno disuelto con el HI 9142 de la marca HANNA.



**Figura 1. La Bahía de Chetumal e imagen Google Earth TM de la Península de Yucatán (Obtenido de: Castelblanco-Martínez, 2010).**



**Figura 2. Localización geográfica del sitio de muestreo en la bahía de Chetumal, Quintana Roo (Obtenido de: Google Earth ©2022 INEGI).**

### **3.2. LABORATORIO.**

Para la realización de los bioensayos y la aclimatación fue seguida la metodología descrita por Pires *et al.* (2015), con algunas modificaciones que fueron adaptados a nuestros experimentos y organismos.

### **3.3 ACLIMATACIÓN.**

La especie utilizada fue identificada mediante la observación en un microscopio estereoscopio, utilizando las claves de González y Salazar (2002), en el cual, se descartaron otras especies recolectadas y dañadas (pálidos y con poco movimiento), dejando únicamente individuos de la especie objeto de estudio, al momento de realizar la identificación se observó individuos fragmentados por lo cual fue hecho una separación de individuos fragmentados y no fragmentados. Para la aclimatación, la especie seleccionada fue puesta en varias peceras de plástico con

una capacidad de 3 L cada una y tomando en cuenta la separación ya realizada fue añadido una capa de aproximadamente 2 cm de sedimento del sitio de muestreo a cada pecera, también fue añadido aireación constante a cada pecera, conservados a temperatura ambiente ( $28 - 30 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), y un ciclo de luz-oscuridad natural (Lugar con buena iluminación de la luz solar, sin lámparas prendidas). El sedimento recolectado para las pruebas fue tamizado con una abertura de malla de 0.355 mm de un tamiz No. 45, el cual permitió la eliminación de cualquier otro organismo presente en las muestras que pudiera depredar a los organismos de prueba y partículas grandes que pudieran dañarlos (Calderón-Ruiz *et al.*, 2019). La aclimatación tuvo un periodo de 10 días. La alimentación de los individuos se realizó mediante la adición de alimento artificial, el cual, consistió en la mezcla de partes iguales de comida para peces y espinaca seca, tamizados a 0.355 mm, proporcionados a cada pecera en intervalos de dos días hasta concluir los bioensayos (Moore & Dillon, 1993; Forbes *et al.*, 1996; Méndez, 2015; Herrera-Pérez, & Méndez, 2019).

### **3.4. PRUEBA DE BIOENSAYO.**

Después de la aclimatación, los individuos enteros fueron retirados del sedimento y anestesiados con una solución al 2.5% de MgCl (Cloruro de Magnesio) para posteriormente realizar el corte con una navaja doble filo visto desde un microscopio estereoscopio (esto permitió que el corte fuera más rápido y limpio). Para estas pruebas fueron utilizados un total de 132 individuos amputados en el setígero 42. En una prueba preliminar se verificó que la especie recolectada si presentaba una capacidad regenerativa. Se observó que en la primera semana se regeneraron 13 nuevos setígeros en el individuo, con una coloración más clara al resto del cuerpo; en la segunda semana se habían regenerado 19 setígeros más que la semana anterior; en la región regenerada presentaba una coloración levemente más clara al resto del cuerpo, siendo casi imperceptible; en la tercera semana el individuo se encontraba completamente regenerado con 12 setígeros

más, y todo el cuerpo se percibía del mismo color. En las tres semanas de prueba el poliqueto presentó un total de 44 setígeros nuevos. Un estudio realizado con *D. neapolitana* demostró que el 100% de los individuos sobrevivieron cuando fueron amputados en el extremo posterior, después de la región branquial al hacer el corte en el setígero 60 (Pires *et al.*, 2012).

Durante el periodo de los bioensayos se realizaron revisiones semanales en el cual fueron fotografiados cada uno de los individuos amputados contando el número de setígeros nuevos y se observó el color que iba presentando la parte regenerada. Para poder obtener los organismos fuera de las peceras estos fueron cuidadosamente tamizados con una abertura de malla de 0.355 mm evitando fracturarlos y fragmentarlos y se observaron en un microscopio estereoscopio. Pires *et al.* (2015) determinaron que los setígeros regenerados se identifican por el color más claro y / o su ancho más estrecho en comparación con el resto del cuerpo.

Fueron utilizados un total de 22 peceras con 6 individuos (Figura 22 en anexos) cada una los cuales se mantuvieron con las condiciones antes mencionadas en la aclimatación, cabe destacar que cada prueba fue realizada con una réplica y las exposiciones a estos parámetros fueron evaluados individualmente sin tener relación con otro parámetro.

### **3.5. LA SALINIDAD EN LA REGENERACIÓN.**

Con respecto a este parámetro fueron usados un total de 72 individuos (12 peceras con 6 organismos cada uno), los cuales fueron sometidos a diferentes salinidades evaluados en Tratamiento 1: 8 g/L, Tratamiento 2: 14 g/L, Tratamiento 3: 21 g/L, Tratamiento 4: 28 g/L y Tratamiento 5: 34 g/L, tomando en cuenta una prueba control de 18 g/L y administrando las indicaciones descritas anteriormente en la aclimatación. Antes de iniciar las pruebas a cada pecera se le fue añadido sedimento y una solución salina preparada con sales de mar para acuario (sal marina "Oceanic®") con la cantidad requerida en cada pecera disuelta en agua

purificada hasta obtener una mezcla homogénea, después del corte realizado a los individuos estos fueron agregados a cada pecera. La primera semana este parámetro fue controlado diariamente y para evitar variaciones durante el experimento se utilizó un volumen fijo de 250 ml de agua purificada para mantener las salinidades correspondientes. Se seleccionó las salinidades teniendo en cuenta el intervalo de salinidad que se percibe en los sitios de muestreo donde fueron recogidos los organismos.

### **3.6. LA TEMPERATURA EN LA REGENERACIÓN.**

Para esta prueba fueron usados un total de 60 individuos (10 peceras con 6 organismos cada una) tomando en cuenta las indicaciones previamente descritas en la aclimatación. Las temperaturas presentadas fueron Tratamiento 1: 22°C, Tratamiento 2: 26 g/L, Tratamiento 3: 31 g/L y Tratamiento 4: 34°C, anexando una temperatura de control de 30°C. Para evitar la evaporación del agua fue proporcionado una cantidad de 500 ml de agua salina a 14 g/L cada dos días en las temperaturas 22, y 26 °C, y una cantidad de un litro cada dos días para las temperaturas, 30, 31 y 34°C. Antes de iniciar los bioensayos cada pecera fue preparada con el agua marina recolectado del sitio de muestreo y sedimento, colocando en cada pecera un termostato con la temperatura deseada para posteriormente agregar los organismos.

Para determinar las temperaturas se tomó en cuenta los valores predominantes en la Bahía de Chetumal durante los periodos estacionales, y tomando en cuenta el peor escenario predicho por el cambio climático para finales del siglo XXI (2081-2100), el cual indica que el aumento de la temperatura para el peor escenario predicho para finales del siglo (2081-2100) aumente de 3.2 a 5.4°C con una media de 4.3°C; con un aumento medio del nivel del mar de 1 m para el año 2100 y 3.5 m para el año 2300 (IPCC, 2019). Durante un estudio realizado por Delgado-Blas *et al.* (2011) determinaron que la temperatura más alta se registró en

secas con 34.6°C y la más baja en nortes con 24.7 con una temperatura promedio de 31.6°C y en otro estudio realizado por Jesús-Navarrete (2000) determinó que la temperatura de los sedimentos varió entre 24.4 y 30.6°C.

### **3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.**

Para el análisis de los datos obtenidos en las pruebas de salinidad y temperatura, fue realizado un análisis descriptivo entre los tratamientos y el control para determinar el comportamiento general de los datos.

Para ello, se procedió a formular las siguientes hipótesis de trabajo:

- Hipótesis nula (Ho): No se encontró suficiente evidencia para demostrar que la variable de respuesta (regeneración) es diferente entre los tratamientos y el control en el parámetro de salinidad.
- Hipótesis alterna (Ha): Existe diferencia significativa de las variables de respuesta (regeneración) entre los tratamientos y el control en el parámetro de salinidad.
- Hipótesis nula (Ho): No se encontró suficiente evidencia de la regeneración entre los tratamientos y el control del parámetro temperatura.
- Hipótesis alterna (Ha): Existe diferencia significativa de la regeneración entre los tratamientos y el control del parámetro temperatura.

Al denotarse diferencias estadísticas se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Las diferencias significativas entre los tratamientos y el control se determinaron mediante el análisis de varianza (ANOVA). Los resultados mostraron que no todos los experimentos con relación a la variable de respuesta (regeneración) presentaron una distribución normal, por lo tanto, fue aplicando un ANOVA no paramétrica de una vía y el nivel de confianza considerado en el

presente estudio fue del 95%. Para comparar y presentar los datos de la variable regeneración de cada tratamiento y el control fue usado los gráficos de Box Plots.

---

---

# **CAPÍTULO IV.**

# **RESULTADOS**

---

---

## IV. RESULTADOS

### 4.1. COMPORTAMIENTO GENERAL DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.

Los parámetros ambientales durante los bioensayos se comportaron de la siguiente manera (Tabla 1). En las pruebas de salinidad, el pH presentó valores alcalinos con un promedio de  $8.33 \pm 0.15$  y el oxígeno disuelto registró un valor promedio de  $5.69 \text{ mg/L} \pm 0.25 \text{ g/L}$ . En todas las pruebas de salinidad se presentó una temperatura ambiente de  $28^\circ\text{C}$ . En las pruebas de temperatura la salinidad aumento al incrementarse la temperatura, teniendo como salinidad mínima  $13.7 \text{ g/L}$  y un máximo de  $31 \text{ g/L}$ , con variaciones entre  $2$  y  $7 \text{ g/L}$ . Con respecto a las pruebas de temperatura, se registró un pH con valor promedio de  $7.85 \pm 0.15$ . Para las pruebas de temperatura no fue registrado la variación de oxígeno disuelto debido a que el oxímetro presentó fallas, por lo que no fue posible hacer las mediciones correspondientes.

**Tabla 1. Parámetros ambientales registrados durante las pruebas de Salinidad y Temperatura.**

SALINIDAD					TEMPERATURA				
	Salinidad (g/L)	pH	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)		Temperatura (°C)	pH	Salinidad (g/L)	Oxígeno Disuelto (mg/L)
Control	14	$8.3 \pm 0.1$	$5.46 \pm 3$	$28.3 \pm 0.3$	Control	$31^\circ\text{c}$	$7.97 \pm 0.15$	$26.8 \pm 7$	.
Trat1	8	$8.46 \pm 0.22$	$5.71 \pm 2$	$28.43 \pm 0.2$	Trat1	$22^\circ\text{c}$	$7.76 \pm 0.2$	$13.7 \pm 2$	.
Trat2	18	$8.24 \pm 0.15$	$5.73 \pm 2.5$	$28.3 \pm 0.1$	Trat2	$26^\circ\text{c}$	$7.77 \pm 0.15$	$17.6 \pm 3$	.
Trat3	24	$8.21 \pm 0.2$	$5.83 \pm 2.5$	$28.31 \pm 0.1$	Trat3	$30^\circ\text{c}$	$7.78 \pm 0.1$	$22.5 \pm 7$	.
Trat4	28	$8.33 \pm 0.2$	$5.83 \pm 2$	$28.42 \pm 0.05$	Trat4	$34^\circ\text{c}$	$7.97 \pm 0.15$	$31.1 \pm 3$	.
Trat5	32	$8.45 \pm 0.22$	$5.63 \pm 2.5$	$28.36 \pm 0.2$					
PROMEDIO		$8.33 \pm 0.15$	$5.69 \pm 0.25$	$28.35 \pm 0.1$	PROMEDIO		$7.85 \pm 0.15$	$22.34 \pm 9$	

## 4.2. PORCENTAJE DE SETÍGEROS REGENERADOS CON RESPECTO A LA SALINIDAD.

Las pruebas de salinidad tuvieron una duración de 4 semanas (28 días), periodo en el que se regeneraron completamente los organismos. De manera general se observó que las mayores regeneraciones fueron en la segunda semana con un 36% de la regeneración total, y en la primera y tercera semana presentaron regeneraciones similares del 23 y 25% respectivamente, y disminuyó la regeneración en la cuarta semana con un 16% (Figura 3).

De manera específica se determinó que algunos tratamientos presentaron su mayor porcentaje de regeneración en la primera semana: el tratamiento 5 (32 g/L) presentó un 34%, el tratamiento 4 (28 g/L) un 31%; y el tratamiento 2 (14 g/L) un 29% de regeneración (Figura 4). Sin embargo, hubo otros que presentaron su mayor regeneración en la segunda semana, siendo el tratamiento 3 (24 g/L) con un 48%, seguido del tratamiento 1 (8 g/L) y la prueba control (18 g/L) con un 39% de regeneración; también, se observó que la regeneración en la cuarta semana disminuyó en todos los tratamientos, presentando porcentajes menores de regeneración al 20% (Figura 4).

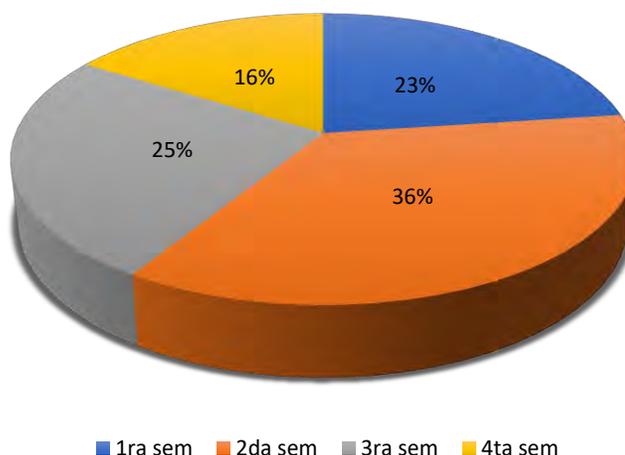
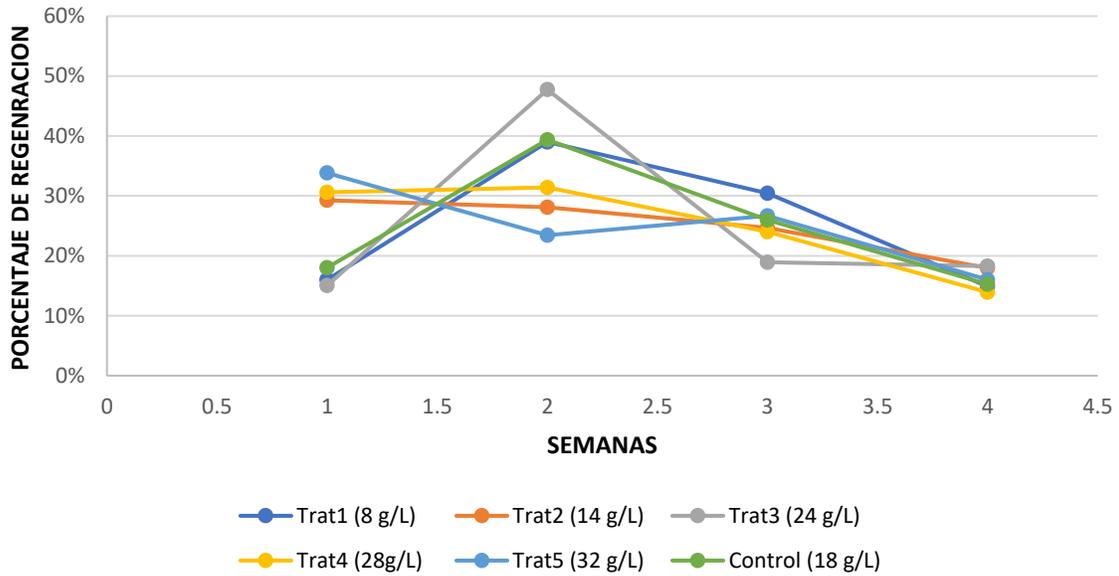
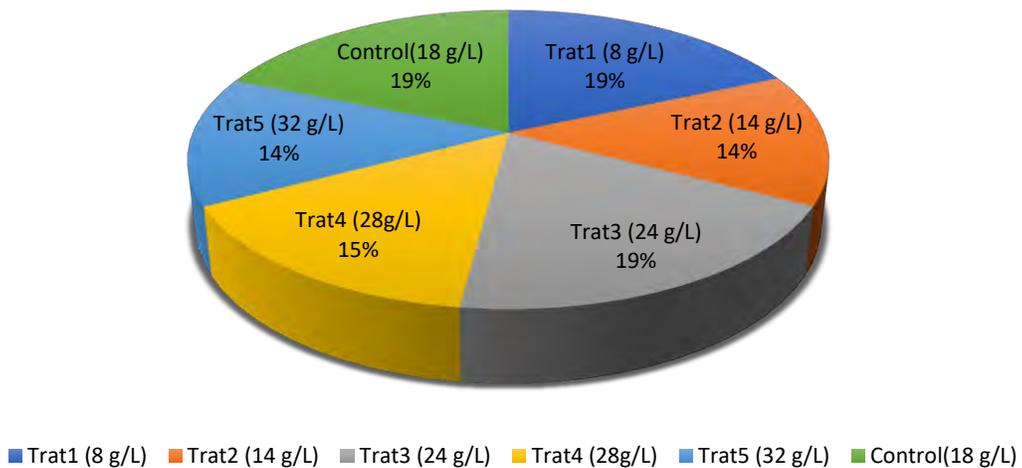


Figura 3. Porcentaje de regeneración de todos los tratamientos obtenido por semana.



**Figura 4. Porcentaje de setígeros regenerados en salinidad.**

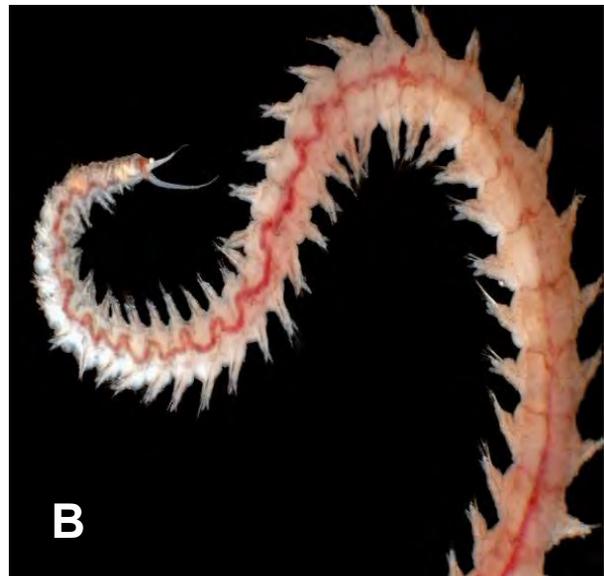
Al finalizar las pruebas se determinó que los tratamientos 1 (8 g/L), 3 (24 g/L) y prueba control (18 g/L) presentaron los mayores porcentajes de setígeros regenerados con un 19% y los menores porcentajes de regeneración en el tratamiento 2 (14 g/L) y el tratamiento 5 (32 g/L) (Figura 5 y 6).



**Figura 5. Porcentaje total de setígeros regenerados por tratamiento.**

### 4.3. PORCENTAJE DE MORTALIDAD CON RESPECTO A LA SALINIDAD.

De manera general, se observó que la mortalidad fue mayor en la segunda y cuarta semana con un 29% (Figura 7). En la primera semana el tratamiento 2 (14 g/L) presentó su mayor mortalidad con el 25%, seguido del tratamiento 4 (28 g/L) con un 17% de mortalidad; en la segunda semana el tratamiento 5 (32 g/L) y 3 (24 g/L) presentaron su mayor mortalidad con 25 y 17% respectivamente; en la tercera semana no hubo una alta mortalidad; sin embargo, en la cuarta semana presentó la mayor mortalidad para la prueba control (18 g/L) con 33% y el tratamiento 1 (8 g/L) con el 25% de mortalidad (Figura 8).



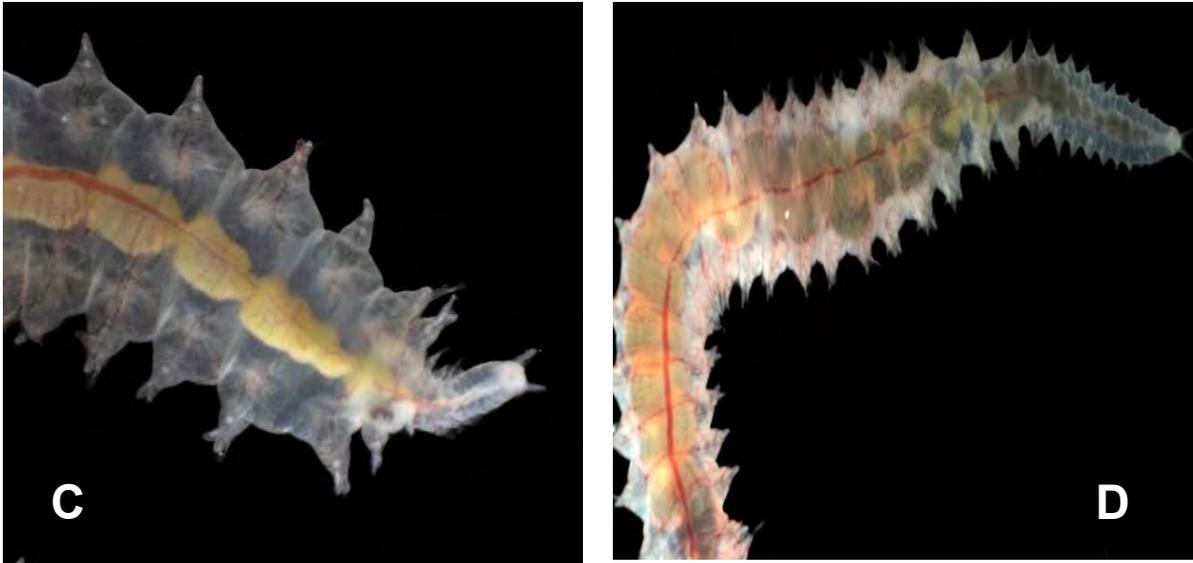


Figura 6. Regeneración posterior de *L. culveri*. Registro fotográfico del proceso de regeneración a 7 (columna izquierda) y 21 días (columna derecha) después de la amputación a 24 g/L (A Y B; mayor regeneración) y 32 g/L (CY D; menor regeneración).

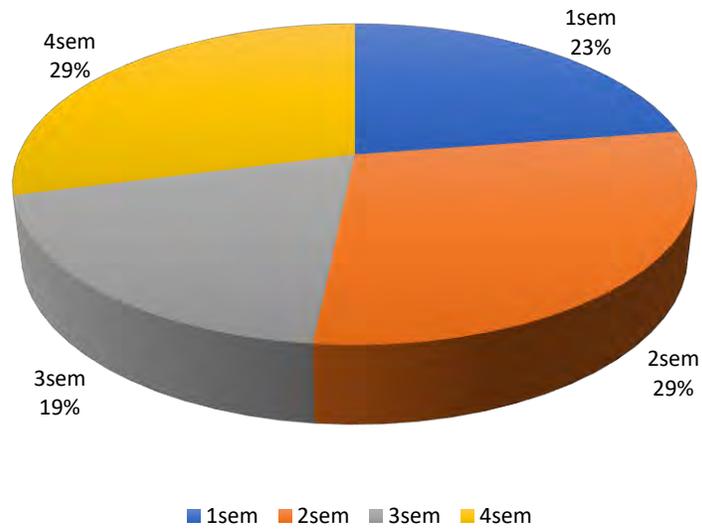
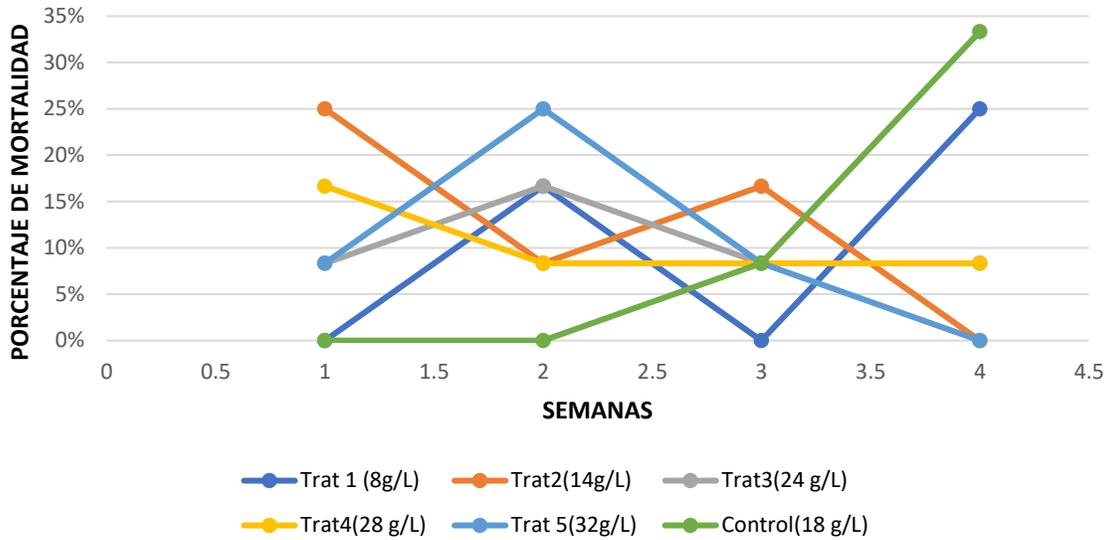
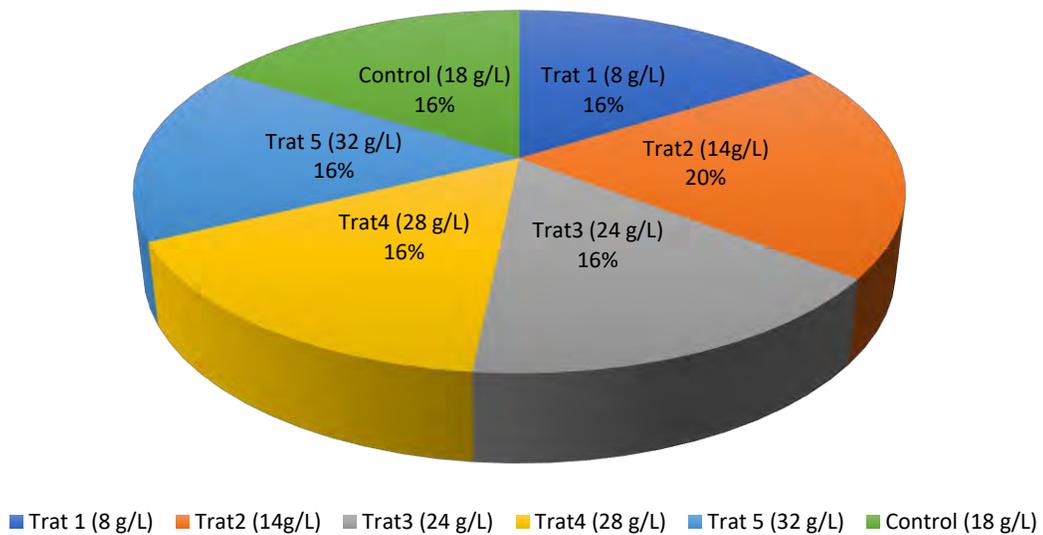


Figura 7. Porcentaje de mortalidad de todos los tratamientos obtenidos por semana.



**Figura 8. Porcentaje de mortalidad en las pruebas de salinidad.**

Al finalizar las pruebas se observó que el tratamiento 2 (14 g/L) presentó la mayor mortalidad con un 20% y las pruebas restantes presentaron una mortalidad similar al 16% (Figura 9).



**Figura 9. Porcentaje total de mortalidad en las pruebas de salinidad.**

#### 4.4 COMPARACIÓN ENTRE LOS TRATAMIENTOS Y EL CONTROL (SALINIDAD).

Se determinó que la prueba control presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con respecto a los tratamientos 4 (28 g/L) y 5 (32 g/L); observando que la prueba control (18 g/L) en su primer cuartil y tercer cuartil presentaron los valores más altos con 47 y 56.3 respectivamente, y una mediana de 50.5; con diferencia al tratamiento 4 (28 g/L) y el tratamiento 5 (32 g/L) presentaron en su tercer cuartil los valores más bajos con 41.8 y 42.5 respectivamente, siendo estos los valores más bajos obtenidos. El tratamiento 1, 2 y 3, en su tercer cuartil presentaron valores de 48.3, 46.3 y 51.5 respectivamente con valores cercanos al primer cuartil de la prueba control (Figura 10). Se observó que la prueba control presentó una reducida dispersión de datos con un rango inter-cuartil de 9.3 (Tabla 2), siendo la única con una asimetría positiva, con sus datos más cercanos a la mediana. Así mismo, se observó que las medianas de los tratamientos 4 (28 g/L) y 5 (32 g/L) fueron similares con un valor de 36 y 36.5 respectivamente, sin embargo, la distribución de datos del tratamiento 4 fue menor al tratamiento 5 con un rango inter-cuartil de 17.3 y 32 respectivamente (Tabla 2).

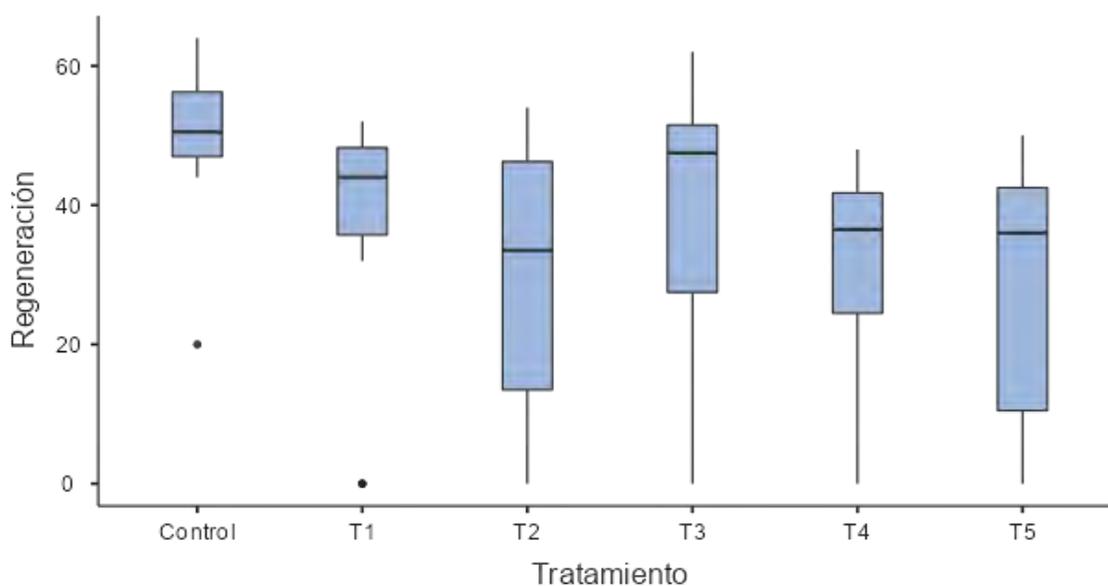


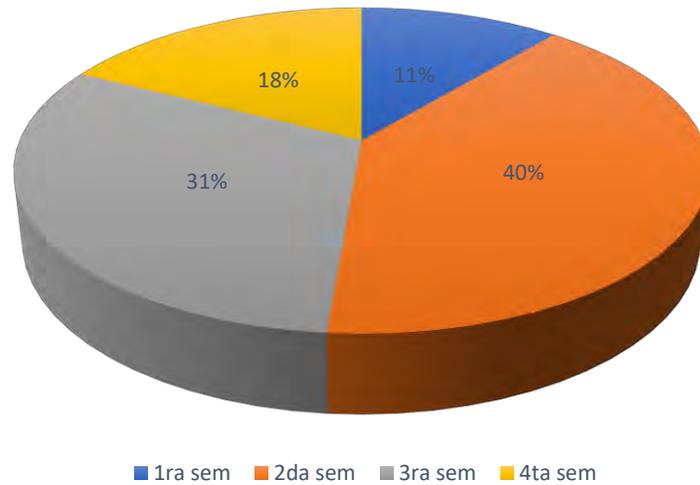
Figura 10. Comparación entre los tratamientos y el control en los bioensayos de salinidad.

**Tabla 2. Rango Inter-Cuartil (RIC) de las pruebas de salinidad (Dispersión de los datos).**

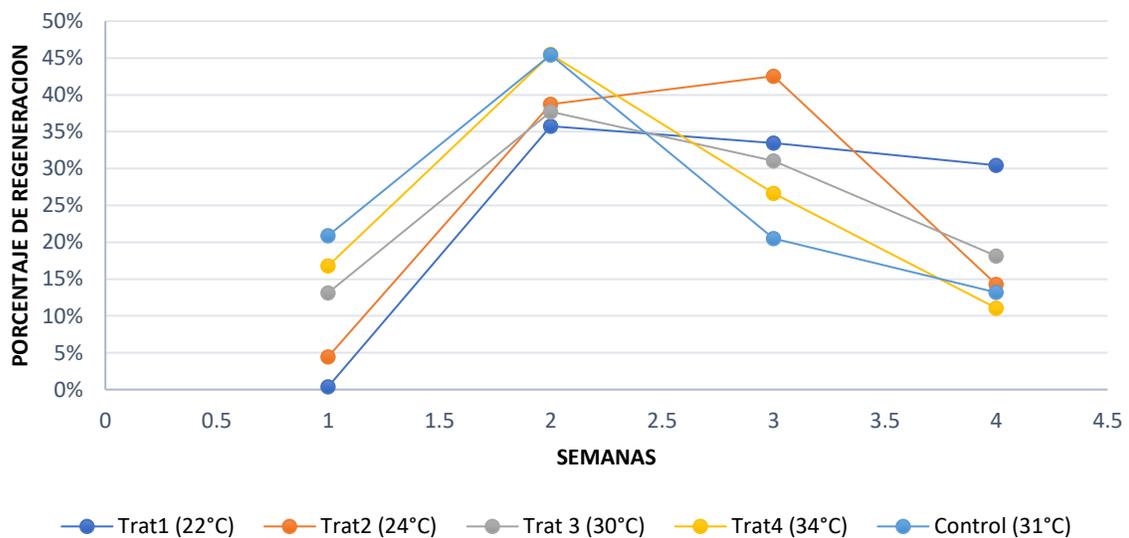
<b>PRUEBAS</b>	<b>RIC</b>
Control (18 g/L)	9.3
T1 (8 g/L)	12.5
T2 (14 g/L)	32.8
T3 (24 g/L)	24
T4 (28 g/L)	17.3
T5 (32 g/L)	32

#### **4.5. PORCENTAJE DE SETÍGEROS REGENERADOS CON RESPECTO A LA TEMPERATURA.**

Esta prueba fue de un periodo de 4 semanas (28 días) igual que la prueba de salinidad, periodo en el que se observó la regeneración completa de los organismos. De manera general se observó que la mayor regeneración se presentó en la segunda semana con un 40% de regeneración y la menor regeneración se presentó en la primera semana con un 11%; la tercera semana un 30 % y la cuarta semana se regeneró el 18% de su cuerpo (Figura 11). La mayor regeneración se presentó en la segunda semana de prueba para el tratamiento 4 (34°C) y para la prueba control (31°C) con una regeneración igual del 45%; sin embargo, para la cuarta semana, las mismas pruebas (control y tratamiento 4) presentaron la menor regeneración con el 13 y el 11% respectivamente. Los tratamientos 1 (22°C) y 3 (30°C) presentaron poca diferencia entre sus porcentajes de regeneración, siendo su mayor regeneración en la segunda semana con 36 y 38 % respectivamente. El tratamiento 2 (24°C) presentó su mayor regeneración en la tercera semana con el 43% y disminuyó en la cuarta semana con el 14% (Figura 12).

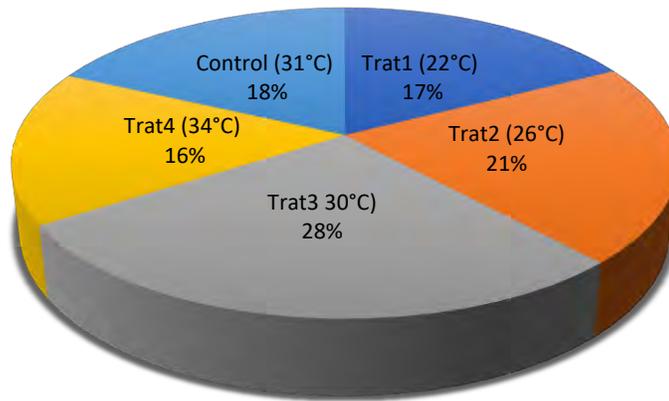


**Figura 11. Porcentaje de regeneración de todos los tratamientos obtenido por semana.**



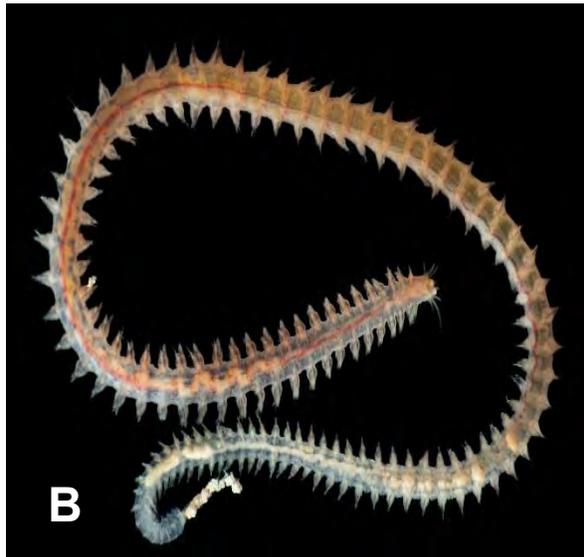
**Figura 12. Porcentaje de setígeros regenerados con diferentes temperaturas.**

Al finalizar la prueba se determinó que el tratamiento 3 (30°C) presentó el mayor porcentaje de regeneración con el 28%, seguido del tratamiento 2 (26°C) con el 21%, la prueba control con el 18% de regeneración total de su cuerpo, y los porcentajes más bajos de regeneración total se presentó en el tratamiento 1 (22°C) y 4 (34°C) con el 17 y 16% respectivamente (Figura 13 y 14).



■ Trat1 (22°C) ■ Trat2 (26°C) ■ Trat3 (30°C) ■ Trat4 (34°C) ■ Control (31°C)

**Figura 13. Porcentaje total de setigeros regenerados por tratamiento.**



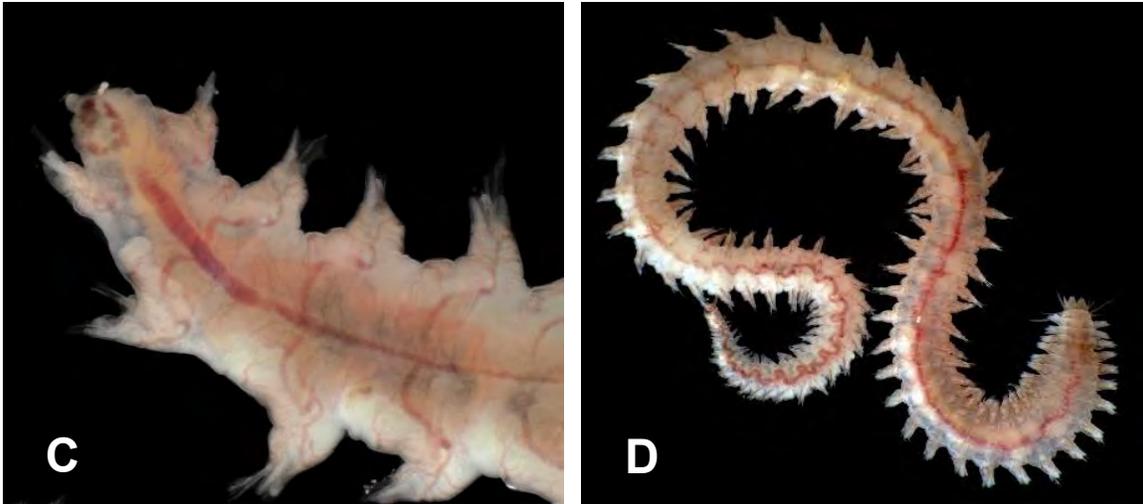
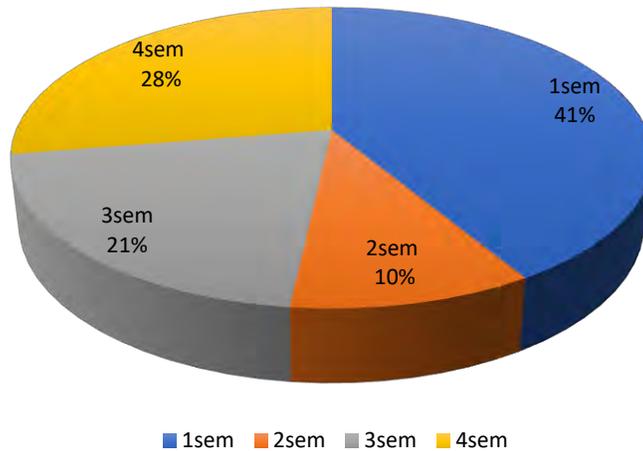


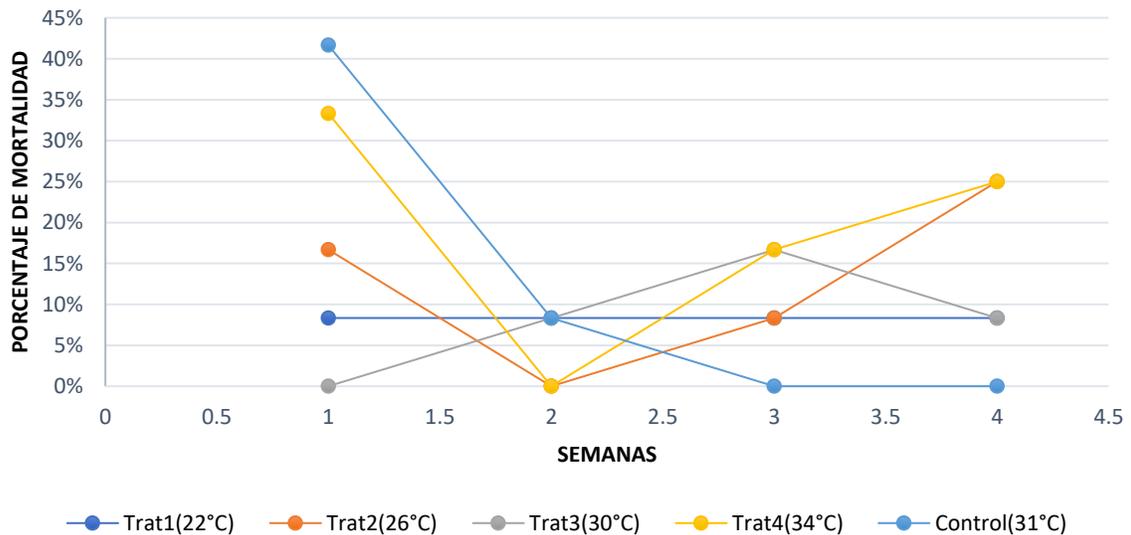
Figura 14. Regeneración posterior de *L. culveri*. Regeneración posterior de *L. culveri*. Registro fotográfico del proceso de regeneración a 7 (columna izquierda) y 21 días (columna derecha) después de la amputación a 30°C (A Y B; mayor regeneración) y 34°C (C Y D; menor regeneración).

#### 4.6. PORCENTAJE DE MORTALIDAD CON RESPECTO A LA TEMPERATURA.

De manera general se observó que la mayor mortalidad fue en la primera semana con el 41%, y la menor se registró en la segunda semana con el 10% (Figura 15). En la primera semana, el control (31°C) presentó la mayor mortalidad con el 42%; posteriormente, la tercera y cuarta semana no presentó mortalidad. El tratamiento 4 (34°C) presentó su mayor mortalidad en la primera semana con un 33%, en la segunda semana no presentó mortalidad, y en la tercera y cuarta semana presentaron el 17 y 25% de mortalidad. El tratamiento 1 (22°C) presentó un 8% de mortalidad cada semana. El tratamiento 2 (24°C) y 3 (30°C) presentaron su mayor porcentaje de mortalidad en la cuarta y tercera semana con el 25% y 17% respectivamente (Figura 16).

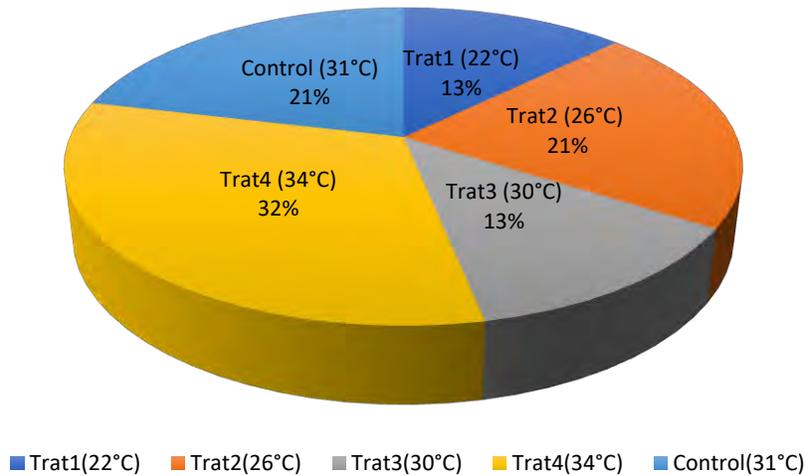


**Figura 15. Porcentaje de mortalidad de todos los tratamientos obtenidos por semana.**



**Figura 16. Porcentaje de mortalidad en pruebas de temperatura.**

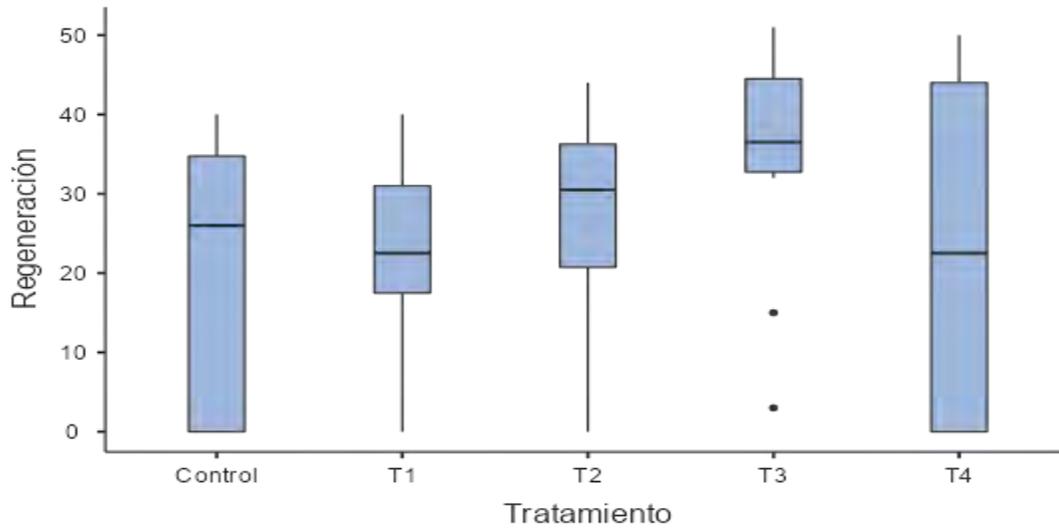
Al finalizar las pruebas de temperatura se determinó que la mayor mortalidad se presentó en la temperatura más alta (tratamiento 4, 34°C) con el 32% de la mortalidad total. La prueba control (31°C) y el tratamiento 2 (26°C) presentaron una mortalidad del 21%. El tratamiento 1 (22°C) y 3 (30°C) presentaron la menor mortalidad con un 13% (Figura 17).



**Figura 17. Porcentaje total de mortalidad en las pruebas de salinidad.**

#### **4.7. COMPARACIÓN ENTRE LOS TRATAMIENTOS Y EL CONTROL (TEMPERATURA).**

No se presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los tratamientos y la prueba control. El tratamiento 3 (30°C) presentó valores más altos con respecto a los demás tratamientos, con un valor de 32.8 en su primer percentil, una mediana de 36.5 y en su cuartil un valor de 44.5, con una dispersión más centrada (RIC de 11.7) y una asimetría positiva. Se observó que la distribución de datos del tratamiento 4 fue elevada (valor de 44 en su tercer percentil) pero también presentó la dispersión de datos más elevada (RIC de 44) y una asimetría casi simétrica, al igual que la prueba de control que también presentó una dispersión de datos elevada (34.8 en su tercer percentil y RIC idéntico de 34.8) (Figura 18 y Tabla 3).



**Figura 18. Comparación de los valores de regeneración entre los tratamientos y el Control en los bioensayos de temperatura.**

**Tabla 3. Rango Inter-Cuartil (RIC) de las pruebas de temperatura (Dispersión de datos).**

<b>PRUEBAS</b>	<b>RIC</b>
Control (31°C)	34.8
T1 (22°C)	13.5
T2 (26°C)	15.5
T3 (30°C)	11.7
T4 (34°C)	44

---

---

# **CAPÍTULO V.**

# **DISCUSIONES**

---

---

## V. DISCUSIONES

---

Los poliquetos son un componente importante predominante en la biota marina y estuarina (APHA, 1992) y como organismos de prueba son útiles para realizar bioensayos ecotoxicológicos, debido que presentan alta sensibilidad a los contaminantes (Uc-Peraza, 2009). Sin embargo, la identificación de los efectos pronosticados por los cambios de salinidad y temperatura en los ecosistemas acuáticos son limitados y la mayoría de los estudios están centrados en la bioacumulación y alteraciones bioquímicas, en consecuencia, poco se sabe respecto a las alteraciones fisiológicas. Por esta razón, debe ser una prioridad entender cómo la biodiversidad puede verse afectada por los cambios en estos parámetros y así mismo identificar los esfuerzos de conservación y gestiones necesarias para ser desarrollados (Pires *et al.*, 2015).

De manera general, se observó que el mayor porcentaje de regeneración se presentó en la segunda semana para las dos pruebas, en salinidad fue el 36% y temperatura el 40%; mientras que la primera semana obtuvo los menores porcentajes en salinidad el 23% y temperatura el 11%; esto puede ser explicado debido que los bajos porcentajes de regeneración durante los primeros días después de la ablación son ocasionados por el cambio fisiológico necesario para reparar el tejido, ya que la regeneración en sí misma es un proceso que consume energía (Hodgson, 1982; citado por Núñez *et al.*, 2013). Así mismo, Maginnis (2006) menciona que la regeneración de partes del cuerpo perdidas requiere la asignación de recursos que de otro modo se habrían destinado a otros procesos fisiológicos; y las condiciones ambientales oceánicas cambiantes (temperatura, pH, hipoxia, salinidad) también son un factor que afectan la capacidad de regeneración de los individuos lesionados (Lindsay, 2010). La regeneración también depende de la parte en que es generada la lesión, en los poliquetos esta región puede ser en la parte anterior branquial, en la parte central o en la parte posterior; muchos poliquetos sabélidos, espiónidos y oligoquetos tubífidos experimentan una regeneración del segmento anterior; sin embargo, varios taxones no pueden hacerlo anteriormente; estos incluyen al menos algunos representantes de Capitellidae, Polynoidae,

Nereididae, Dorvilleidae, Eunicidae, Oweniidae, Sabellidae, Spionidae y Tubificidae (Bely, 2006).

Los mayores porcentajes de regeneración en las pruebas de salinidad se presentaron en el tratamiento 1 (8 g/L), el control (18 g/L), y el tratamiento 3 (24 g/L), cada uno de ellos con el 19% de la regeneración total, esto podría explicarse debido a la adaptación que esta especie tiene a las variaciones de salinidad presentes en la Bahía de Chetumal. Delgado-Blas *et al.* (2011) determinaron que una de las especies más abundantes de la Bahía de Chetumal es *L. culveri*, presente no sólo en todas las épocas estacionales, sino también en todos los transectos estudiados, con una gran adaptabilidad para prosperar en ambientes con distintas salinidades (0.5 g/L - 30 g/L); por lo que se le considera la especie más tolerante a la salinidad (Pettibone, 1971; de León-Gonzales, 1997; Ferreira-Cravo, 2006 Delgado-Blas *et al.*, 2011), encontrándose tanto en los transectos con baja, moderada y alta salinidad en la Bahía de Chetumal; de acuerdo a Carrillo *et al.* (2009), la bahía puede presentar salinidades de 2 a 26 g/L con una fuerte estratificación en las pozas que se encuentran dentro de la bahía. Así mismo, Pettibone (1971) observó que *L. culveri* presenta una alta resistencia a los cambios de salinidad y pueden resistir salinidades de 0.5 a 30 g/L, y Loncon-Paredes (2014) confirma que las especies estuarinas tienen una amplia tolerancia a las fluctuaciones de diversos factores ambientales como pH, salinidad, y temperatura. Sin embargo, es posible determinar que algunos aspectos como su regeneración puede verse afectada al exponerse a salinidades altas, como fue observado en este estudio, los menores porcentajes de regeneración se presentó en el tratamiento 5 (32 g/L; salinidad más alta) con el 14% de la regeneración total.

En contraste a la especie estudiada, el poliqueto *Diopatra neapolitana* (Annelida, Onuphidae) presenta una mayor adaptabilidad a salinidades más altas, y una mayor sensibilidad a salinidades amplias como lo observaron Pires *et al.* (2015) donde la especie *D. neapolitana* (Annelida, Onuphidae) presentó altos porcentajes de regeneración en salinidades de 28 y 35 g/L y sin presentar mortalidad; a diferencia de salinidades de 21 y 42 g/L que presentaron mortalidades del 40 y 50%

respectivamente; además, esta especie no es capaz de adaptarse a salinidades de 14 g/L, ya que presentaron el 100% de mortalidad en las pruebas realizadas. Con respecto a otra especie de poliqueto, *Capitella sp I* se considera como una especie eurihalina (Levin *et al.*, 1996), sin embargo, la tolerancia a la salinidad no ha sido bien definida, ya que se observa al igual que la especie *D. neapolitana* (Annelida, Onuphidae) una mayor sensibilidad a amplias salinidades. A diferencia de *L. culveri* que presenta una alta tolerancia a distintas salinidades. Pechenik *et al.* (2000) mencionaron que la especie *Capitella sp I* es capaz de completar su ciclo de vida en salinidades tan bajas como 12 g/L, sin embargo, ningún individuo sobrevive más de una semana a 10 g/L en cualquiera de las etapas de desarrollo, con tasas reducidas de crecimiento, actividad reproductiva retrasada y bajas fecundidades a salinidades más bajas. También, Wibowo *et al.* (2019) observaron que el trabajo metabólico de *Nereis sp.* se ve influenciado por la salinidad, demostrando que el consumo de oxígeno es mayor a 25 g/L de salinidad, mientras que a 5 y 15 g/L muestra un bajo nivel de consumo de oxígeno. *Nereis sp.* requiere una energía relativamente menor cuando vive a una salinidad media de 5-15 g/L en comparación a una salinidad de 25 g/L. Esta condición indica que la salinidad de 5-15 g/L es la salinidad óptima para el crecimiento de *Nereis sp.* La salinidad está relacionada con la presión osmótica del agua, cuanto mayor sea la diferencia en la presión osmótica entre el cuerpo y el ambiente, más energía metabólica se necesita para hacer la osmorregulación como un esfuerzo de adaptación (Fujaya, 2004; citado por Wibowo *et al.*, 2019). En otros organismos acuáticos como los peces la salinidad también es un factor importante para la incubación de huevos, ya que fuera de un rango óptimo de salinidad, el desarrollo embrionario se ve afectado, provocando malformaciones en embriones y larvas, puede alargar el tiempo y disminuir el porcentaje de eclosión (Zhang *et al.*, 2010). Los peces de la especie botete diana *Sphoeroides annulatus* presentan una adaptación y resistencia a los diversos cambios de salinidad similar a la especie estudiada. Abdo-de la Parra *et al.*(2012) demostraron que los embriones de esta especie pueden desarrollarse y las larvas eclosionar en salinidades desde 15 a 40 g/L; por lo que se considera a esta especie en particular como eurihalina, cuyos embriones y larvas pueden tolerar un amplio rango de

salinidad (Tucker, 1998); en la eclosión de huevos y larvas de esta especie se observó que a 10 y 45 g/L el porcentaje de eclosión no fue mayor de 18%; a 15, 20 y 40 g/L eclosionaron solo alrededor del 40%; a 25, 30 y 35 g/L se presentaron los mayores porcentajes de eclosión (65%).

En cuanto a la mortalidad, *L. culveri* al ser capaz de adaptarse a una amplia variación de salinidad presentó una baja mortalidad (16%) en todos los tratamientos, excepto el tratamiento 2 (14 g/L) que presentó una mortalidad del 20% y un porcentaje de regeneración del 14%, lo cual puede deberse a otros factores como el oxígeno disuelto ( $5.46 \pm 3$  mg/L), siendo esta prueba la que presentó los valores más bajos de oxígeno disuelto durante el monitoreo, y ligeramente pasando los estándares establecidos en el criterio ecológico CE-CCA-001/89 de 5 mg/l (Sedue, 1989), también puede ser explicado en términos de aclimatación en el laboratorio, aunque a los organismos de *L. culveri* se aclimataron por 10 días, tiempo suficiente para realizar el experimento, o puede atribuirse a otros factores no controlados durante el experimento, tales como la edad, el estado de salud y estado de madurez de los organismos, que pudieron morir de manera natural a lo largo del tiempo (Herrera-Pérez y Méndez, 2019).

Con respecto a los efectos de la temperatura observados en *L. culveri*, presenta mayor tolerancia a temperaturas cálidas (26-30°C); en los tratamientos 3 (30°C) y 2 (26°C) la regeneración fue mayor con el 28 y el 21% respectivamente, esto podría explicarse en que estos organismos presentan una mayor adaptación a las temperaturas predominantes en la bahía de Chetumal. Suárez-Morales, 1994 observó temperaturas promedio de 26.5 °C, con una temperatura mínima de 22°C en enero y febrero, y el máximo cerca de 31°C en agosto. Sin embargo, los organismos expuestos a temperaturas más bajas (tratamiento 1: 22°C) y más altas (tratamiento 4: 34°C), presentaron los menores porcentajes de regeneración con el 17 y 16% respectivamente; en contraste con la especie estudiada, Pires *et al.* (2015) observaron que la especie *D. Neapolitana* presentó una capacidad regenerativa que aumenta significativamente con el aumento de la temperatura, tanto en términos de número de días necesarios para lograr la regeneración completa como en el número

de setígeros regenerados; estos resultados demostraron que las temperaturas más altas aceleran el proceso de regeneración de *D. neapolitana* (se presentó el 44.7% de regeneración a 20°C y 50.5% a los 24°C; y un mayor número de nuevos segmentos: 31.2 a 20 °C y 37.2 a 24°C mientras que a bajas temperaturas (14°C) se necesitan casi el doble de los días para regenerar la parte del cuerpo que falta; en otros estudios realizados, Quian & Chia (1992) observaron que la temperatura es también un factor influyente en la fecundidad durante la etapa reproductiva, en el tamaño de los huevos, y en el desarrollo de las fases larvales y juveniles en los poliquetos. En otro estudio, Núñez *et al.* (2013) observaron la regeneración de los sifones de bivalvos de la especie *Amiantis purpurata*; determinaron que a altas temperaturas el proceso de regeneración es más acelerado que a bajas temperaturas, y a su vez los sifones crecen más rápido. Las almejas completaron la regeneración aproximadamente en 22 días a temperaturas de 22, 20 y 15°C, pero a 12°C tomó más tiempo (36 días aproximadamente); el período de tiempo que se necesita para regenerar el sifón puede ser importante para su supervivencia, y la temperatura es un factor abiótico importante que modula la velocidad de este proceso. En otros organismos acuáticos, como los crustáceos, fue observado que el aumento de temperatura incrementa la velocidad de crecimiento hasta un valor óptimo, después la mortalidad también tiende a aumentar sustancialmente (Lagerspetz y Vainio, 2006). En un estudio realizado por Hernandez-Sandoval (2008) observaron un mayor crecimiento en los langostinos de la especie *Macrobrachium occidentale* a temperaturas de 25 y 28°C, sin embargo, a temperaturas mayores a 31°C, el crecimiento fue menor y la sobrevivencia disminuyó.

Con relación al control (31 °C), *L. culveri* presentó una regeneración baja (18%) con respecto a la regeneración presentada en el tratamiento 3 (30°C; 28%); es necesario realizar más estudios para identificar claramente los rangos de temperatura óptimos para esta especie. La temperatura es el parámetro ambiental que contribuye a determinar la respuesta fisiológica y el comportamiento de la mayoría de los organismos acuáticos (Ocampo, 1994). Pires *et al.* (2015) señalan

que cuando los valores de temperatura, salinidad, pH no son óptimos, este puede generar estrés oxidativo en los organismos.

El menor porcentaje de mortalidad para este estudio se presentó en el tratamiento 3 (30°C) con el 13%, sin embargo, también el tratamiento 1 (22°C, temperatura más baja) presentó la mortalidad baja (13% de mortalidad); mientras que en el tratamiento 4 (34°C; temperatura más alta) se registró el 32% de la mortalidad más alta; es posible asumir que esta especie se pueda adaptar a temperaturas bajas, pero al incremento de la temperatura presenta una menor adaptación y sobrevivencia; esta especie particularmente puede verse afectada con el calentamiento predicho; Shi *et al.* (2010) observaron que para muchas especies de peces al incrementar la temperatura más allá del rango óptimo de cada especie, acelera el desarrollo embrionario y acorta el tiempo de eclosión; llegando a provocar anomalías en las larvas eclosionadas e incrementación en la mortalidad; también Kumlu *et al.* (2000) mencionaron que la temperatura tiende a provocar un efecto más evidente en la sobrevivencia de los organismos acuáticos. El cambio ambiental puede beneficiar algunas especies, debido a una mayor disponibilidad de alimentos o nutrientes, menores costos fisiológicos de mantenimiento (p. ej., energía utilizada para la respiración, equilibrio ácido-base, calcificación), o menor competencia o depredación. Tales especies pueden experimentar una mayor supervivencia, crecimiento y reproducción y, por lo tanto, pueden ser "ganadoras" en un mundo cambiante. En muchos casos, sin embargo, un cambio hacia condiciones ambientales fuera del rango normal de variabilidad es estresante, lo que provoca un rendimiento fisiológico subóptimo y, por lo tanto, crea los "perdedores" del cambio ambiental. Para tales individuos, las condiciones más estresantes pueden conducir a una mayor mortalidad, un crecimiento reducido, un tamaño más pequeño y una reproducción reducida (Doney *et al.*, 2012).

Con base a los resultados del presente estudio se puede determinar que la salinidad y la temperatura influyen en la regeneración y adaptación de esta especie; Pires, *et al.* (2015) señalan que la regeneración puede ser muy sensible a diferentes factores estresantes entre especies, y sensible a los diferentes factores abióticos

(temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto) el cual podría ser un buen marcador de estrés. Al ser este el primer estudio realizado en cuanto a regeneración en la especie *L. culveri* es necesario la realización de más estudios para poder definir claramente como el aumento de salinidad y temperatura puede llegar a afectar ante un contexto de cambio climático. Pires *et al.* (2015), advierte que el retraso en la capacidad regenerativa puede presentar impactos potenciales en el individuo y, lo más importante a nivel de población, como la reproducción que puede ser retrasada por el tejido perdido.

---

---

# **CAPÍTULO VI.**

# **CONCLUSIONES**

---

---

## VI. CONCLUSIONES

---

- *L. culveri* demostró ser una especie tolerante a distintas salinidades, sin embargo, al incrementarse la salinidad a 32 g/L la regeneración del cuerpo disminuye al 14% y al disminuir la salinidad a 8, 18, y 24 g/L se presentan las mayores regeneraciones del cuerpo con el 19%.
- *L. culveri* presentó el 16% de mortalidad a salinidades de 8, 18, 24, 28 y 32 g/L, excepto en la salinidad de 14 g/L que presentó el 20% de mortalidad asociado a factores no controlados durante el experimento, tales como, la edad, el estado de salud y la madurez de los organismos, que pudieron morir de manera natural a lo largo del tiempo.
- *L. culveri* registró una regeneración mayor del 28 y 21% a temperaturas cálidas de 30 y 26°C respectivamente; mientras que el aumento o descenso de las temperaturas extremas de 34 y 22°C, respectivamente disminuye la regeneración con el 16 y 17% en la especie.
- El presente trabajo demostró que *L. culveri* a temperaturas de 30 y 22°C tiene mortalidades del 13%, siendo mucho mayor la mortalidad de 32% al incrementarse la temperatura a 34°C.
- Se acepta la hipótesis planteada, debido a que el aumento y disminución de la temperatura y la salinidad si afecto en el tiempo y el número de setigeros regenerados en las distintas pruebas. Sin embargo, *L. culveri* demostró ser capaz de tolerar cambios fuertes, puesto que se observó un bajo porcentaje de mortalidad en todas las pruebas de salinidad.

---

---

# **CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES**

---

---

## VII. RECOMENDACIONES

---

- Por ser el primer estudio realizado con la especie *L. culveri* se recomienda realizar futuros bioensayos con salinidades más altas para poder identificar claramente el rango de sobrevivencia de *L. culveri* y así mismo poder identificar la CL<sub>50</sub>.
- Se recomienda realizar más estudios con el incremento y disminución de la temperatura para poder identificar claramente las temperaturas a la que *L. culveri* presenta mayor sobrevivencia y tolerancia, y así mismo, identificar la CL<sub>50</sub> con respecto a la temperatura.
- Se recomienda realizar pruebas de regeneración de *L. culveri* con el pH, parámetro importante en el cambio climático y evaluar otros efectos de este parámetro en la especie.
- Es necesario realizar otras pruebas con los parámetros del cambio climático (temperatura, salinidad y pH) pero con distintas especies de poliquetos presentes en la región, y evaluar su capacidad de regeneración, con la finalidad de generar más información en contexto del cambio climático, e identificar otros posibles daños en las comunidades bentónicas.
- Es recomendable la utilización de otros organismos de prueba de importancia ecológica como peces, crustáceos, moluscos, plantas acuáticas, entre otros, presentes en los sistemas acuáticos de la región, con el fin de generar más información sobre los posibles efectos del cambio climático en los ecosistemas subtropicales.
- Se recomienda utilizar bioensayos crónicos para identificar los efectos en los biomarcadores de diversas especies de poliquetos y otros organismos de esta región, al incrementarse o disminuir la salinidad, temperatura y pH, de esta manera es posible conocer los alcances del cambio climático en las diferentes especies evaluadas.
- Es necesario alentar a futuros investigadores para realizar futuros estudios de este tipo, ya que son estudios innovadores, ricos en información y de gran importancia ambiental y ecológica.

---

---

# **CAPÍTULO VIII.**

# **REFERENCIAS**

---

---

## VIII. REFERENCIAS

---

Abdo-de la Parra M.I, Martínez-Rodríguez I.E., González-Rodríguez B., Rodríguez-Ibarra L.E., Duncan N. y Hernández C., 2012. Efecto de la temperatura y salinidad del agua en la incubación de huevos de botete diana *Sphoeroides annulatus*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* Vol. 47, N°1: 147-153, abril 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572012000100014>

Anacleto, P., Maulvault, A.L., Bandarra, N.M., Repolho, T., Nunes, M.L., Rosa, R., Marques, A., 2014. Effect of warming on protein, glycogen and fatty acid content of native and invasive clams. *Food Research International* (2014) 64: 439-445 DOI: [10.1016/j.foodres.2014.07.023](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.023)

Anderson, M.J., Gorley, R.N., Clarke, K.R., 2008. PERMANOVA for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. PRIMER-E, Plymouth, UK, pp. 1-214.

APHA, AWWA y WPCF (American Public Health, American Water Works Association y Water Pollution Control Federation). (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater. 17 ed. American Public Health Association. Washington DC, EUA. 1193 pp. Argese E., Marcomi

Barange, M. y Perry, R.I. 2009. Repercusiones físicas y ecológicas del cambio climático en la pesca de captura marina y continental y en la acuicultura. Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura: visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos. *FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura* (53): 7–118. Roma, FAO.

Bely A.E., 2006. Distribution of segment regeneration ability in Annelida. Integrative and Comparative. *Biology* 46(4): 508-18. DOI: [10.1093/icb/icj051](https://doi.org/10.1093/icb/icj051)

Böhning-Gaese, K., Jetz, W., & Schaefer, H.C., 2008. Impact of climate change on migratory birds: community reassembly versus. *Global Ecology and Biogeography*: 38-49. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00341.x>

Castelblanco-Martínez, D.N. 2010. Ecología, comportamiento y uso de hábitat de manatíes en la Bahía de Chetumal. Tesis de Doctorado, El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Quintana Roo, México. 190 p.

Calderón-Ruiz A., Delgado-Blas V.H., y Uc Peraza R.G. 2019. Toxicidad aguda de Malation 500® Y Tyson 4E® en *Capitella* sp. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* (2019) 35(3): 565-574 DOI: 10.20937/RICA.2019.35.03.04

Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL, 2010. Áreas protegidas de América Latina se duplicaron en 20 años. *Ciencia-El Mercurio*, pág. 1.

Comisión Europea, 2006. El cambio climático: ¿qué es? Introducción para jóvenes Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas 2006, 20 pp. ISBN 92-894-8911-1

de León J.A. (1997). Nereididos (Polychaeta: Nereidae) de los litorales mexicanos: sistemática, biogeografía y alimentación. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas y División de Estudios de Postgrado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León. 298 pp.

Del Pilar-Ruso Y.; de la Ossa Carretero J. A.; Giménez-Casaldueiro, F. y Sánchez-Lizaso. J. L., 2011. "Polychaete distribution pattern on the Valencian Community coast, Spanish Mediterranean". *Ciencias Marinas* (2011) 37 (3): 261–270. DOI: <https://doi.org/10.7773/cm.v37i3.1762>

Delgado-Blas, V. H., 2001. "Distribución espacial y temporal de los poliquetos (Polychaeta) bénticos de la plataforma continental de Tamaulipas, Golfo de México". *Revista de Biología Tropical* 49 (1): 141-147.

Delgado-Blas V.H., Hernández H.A. y Kuk J.G., 2011. Distribución Espacial y temporal de los poliquetos (polychaeta: annelida) de la bahía de Chetumal, Quintana Roo. *Avances de ciencia y tecnología en Quintana Roo* (2011) (1): 71-103.

Doney, S.C., Ruckelshaus, M., Duffy, J.E., Barry, J.P., Chan, F., English, C.A., Galindo, H.M., Grebmeier, J.M., Hollowed, A.B., Knowlton, N., Polovina, J., Rabalais, N. N., Sydeman, W.J. and Talley, L.D. (2012) Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, (2012) 4 (1): 11-37. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-041911-111611>

España-Álvarez G.A., 2007. Evaluación de moluscos (bivalvos) como bioindicadores de contaminación por la materia orgánica en la bahía de Chetumal, Quintana Roo. Universidad de Quintana Roo. División de Ciencias e ingenierías. Chetumal, Quintana Roo, México, marzo 2007.

Hernández-Sandoval P. 2008. Efecto de la temperatura en el crecimiento y supervivencia del langostino *Macrobrachium occidentale* y del acocil *Cherax quadricarinatus*. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional, Unidad Sinaloa. Guasave, Sinaloa, México.

Ferreira-Cravo M., 2006. Respuestas antioxidantes y el daño oxidativo en diferentes regiones del cuerpo poliqueto acuta *Laeonereis culveri* (poliquetos, *Nereididae*). Tesis doctoral. Universidad de Rio Grande; Rio Grande, Brasil

Freitas R.; Pires A.; Velez C.; Almeida A.; Wrona F.J.; Soares A.M.V.M. & Figueira E. 2015. The effects of salinity changes on the Polychaeta *Diopatra neapolitana*: Impacts on regenerative capacity and biochemical markers. *Aquatic Toxicology* 163: 167–176. DOI: [10.1016/j.aquatox.2015.04.006](https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.04.006)

Forbes V., Forbes T., & Holmer, M., 1996. Inducible metabolism of fluoranthene by the opportunistic polychaete *Capitella* sp. I. *Marine Ecology Progress Series*, 132: 63-70. DOI: [10.3354/meps132063](https://doi.org/10.3354/meps132063)

Giere, O., 2009. Meiobenthology, the microscopic fauna in aquatic sediments. *Springer-Verlag, Hamburg*. 328 pp.

González L.E. y Salazar S.I. 2002. A new estuarine species, *Nereis garwoodi* (Polychaeta: Nereididae), from Bahía de Chetumal, Mexican Caribbean coast. *Revista de Biología Tropical*. 51 (1): 155-164.

Hernández-Sandoval P. 2008. Efecto de la temperatura en el crecimiento y supervivencia del langostino *Macrobrachium occidentale* y del acocil *Cherax quadricarinatus*. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional, Unidad Sinaloa. Guasave, Sinaloa, México.

Herrera-Pérez M., y Méndez N., 2019. Efecto de la temperatura y salinidad en la mortalidad de adultos de *Capitella* sp. (Polychaeta: Capitellidae) en el laboratorio. *Revista de Biología Tropical*, 67(S5) Suplemento: 51-62. DOI: 10.15517/rbt.v67is5.38926

IPCC, 2014. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2014). IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.

IPCC, 2019. El océano y la criosfera en un clima cambiante Informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Resumen para responsables de políticas. Unidad de Apoyo Técnico del Grupo de Trabajo II, IPCC, Suiza. 38 págs.

Kamermans P. & Huitema H.J., 1994. Shrimp (*Crangon crangon* L.) browsing upon siphon tips inhibits feeding and growth in the bivalve *Macoma balthica* (L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* (1994) 175: 59-75. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(94\)90176-7](https://doi.org/10.1016/0022-0981(94)90176-7)

Kumlu M., Eroldogan O.T., y Aktas M., 2000. Effects of temperatura and salinity on larval growth, survival and development of *Penaeus semisulcatus*. *Aquaculture* 188: 167-173. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00330-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00330-6)

Jansson, A., Norkko, J., Norkko, A., 2013. Effects of reduced pH on *Macoma balthica* larvae from a system with naturally fluctuating pH-dynamics. *PloS One* 8: 68-198. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0068198>.

Jesús-Navarrete A., Oliva Rivera J.J., Valencia Beltrán V., y Quintero López N. 2000. Distribución de los sedimentos en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Hidrología*10 (1), México.

Lamarck J.B., 1818. *Histoire naturelle des animaux sans vertebres*. Bailliére, París, 612 pp.

Levin, L. A., Ekau, W., Gooday, A. J., Jorissen, F., Middelburg, J. J., Naqvi, S. W. A., Zhang, J. 2009. Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos. *Biogeosciences*, 6(10): 2063-2098. DOI: 10.5194/bg-6-2063-2009

Licciano M., Michelle-Murray J., James-Watson G., Giangrande A., 2012. Morphological comparison of the regeneration process in *Sabella spallanzanii* and *Branchiomma luctuosum* (Annelida, Sabellida). *Invertebrate Biology*, 131(1): 40–51 DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7410.2012.00257.x>

Lindsay S.M., 2010. Frequency of Injury and the Ecology of Regeneration in Marine Benthic Invertebrates. *Integrative and Comparative Biology* (2010) 50(4): 479–493. DOI: <https://doi.org/10.1093/icb/icq099>

Loncon-Paredes D. A., 2014. EFECTO COMBINADO DEL CO2 Y SALINIDAD SOBRE LA FISIOLOGÍA ENERGÉTICA EN JUVENILES DE *Mytilus chilensis*. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

Maginnis T.L., 2006. The costs of autotomy and regeneration in animals: A review and framework for future research. *Behavioral Ecology* 17(8): 57-72. DOI: 10.1093/beheco/arl010

Matozzo V., Chinellato A., Munari M., Finos, L., Bressan M., Marin M.G., 2012. First evidence of immunomodulation in bivalves under seawater acidification and increased temperature. *PLoS One* (2012) 7(3). DOI: 10.1371/journal.pone.0033820

Matozzo, V., Chinellato, A., Munari, M., Bressan, M., Marin, M.G., 2013. Can the combination of decreased pH and increased temperature values induce oxidative stress in the clam *Chamelea gallina* and the mussel *Mytilus galloprovincialis*? *Marine Pollution Bulletin* (2013) 72(1): 34-40. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.05.004>.

Méndez N., 2015. El poliqueto *Capitella spp.* Como especie prueba en estudios de ecotoxicología. *Heosphoros: Revista de Investigación Multidisciplinaria*, 1: 46-54.

Moore D.W., & Dillon T.M., 1993. The relationship between growth and reproduction in the marine polychaete *Nereis (Neanthes) arenaceodentata* (Moore): implications for chronic sublethal sediment bioassays. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 173: 231-246. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(93\)90055-S](https://doi.org/10.1016/0022-0981(93)90055-S)

Morales-Ramírez A. & Caviedes V., 2016. Cambio climático y recursos marinos. *Revista Ciencia Y Tecnología* (18): 15–25. DOI: <https://doi.org/10.5377/rct.v0i18.2993>

Núñez J.D., Ocampo E.H., Chiaradia N.M., Morsan E & Cledón M., 2013. The effect of temperature on the inhalant siphon regeneration of *Amiantis purpurata* (Lamarck, 1818) (Bivalvia; Veneridae). *Marine Biology Research*, (2013) 9(2): 189-197. DOI: 10.1080/17451000.2012.707323

Ocampo V.L. 1994. Evaluación del efecto de la temperatura y del peso en el consumo de oxígeno del camarón café *Penaeus californiensis* (Holmes 1990). Tesis doctoral. La Paz. B.C.S. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 66p

Pechenik J.A., Berard R., Kerr L., 2000. Effects of reduced salinity on survival, growth, reproductive success, and energetics of the euryhaline polychaete *Capitella*

sp. I. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* (2000) 254 (1): 19–35  
DOI: 10.1016/S0022-0981(00)00261-6

Pettibone, M.H. *Smithsonian Contrib. Zool.* 1971. Partial revision of the genus *Sthenelais* Kinberg (Polychaeta: Sigalionidae) with diagnosis of two new genera. 1971. *Smithsonian Contributions to Zoology* (1971) 109: 1-40 DOI: 10.5479/si.00810282.109

Pires A.; Freitas R.; Quintino V. & Rodrigues A.M., 2012. Can *Diopatra neapolitana* (Annelida: Onuphidae) regenerate body damage caused by bait digging or predation? *Estuarine Coastal and Shelf Science* 110: 36-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.12.039>

Pires A.; Figueira E.; Moreira A.; Soares A.M.V.M. & Freitas R., 2015. The effects of water acidification, temperature, and salinity on the regenerative capacity of the polychaete *Diopatra neapolitana*. *Marine Environmental Research* (2015) 106: 30-41. DOI: [10.1016/j.marenvres.2015.03.002](https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.03.002)

Pounds, J., Fogden, M., & Campbell, J. 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature* (1999) 398: 611-615. DOI: 10.1038/19297

Puente-Carreón E., 2011. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS DE JUVENILES DE CAMARÓN BLANCO *Litopenaeus vannamei*, A CONDICIONES OSCILANTES DE OXÍGENO DISUELTOS Y TEMPERATURA. Tesis Doctoral. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, BC.S., México.

Quian, P. Y., & Chia, F. S. 1992. Effect of aging on reproduction in a marine polychaete *Capitella* sp. *Journal of Experimental Marine Biology*, (1992) 156(1): 23-38. DOI: 10.1016/0022-0981(92)90014-2

Ruiz-Pineda C., Suárez-Morales E. y Gasca R., 2016. Copépodos planctónicos de la Bahía de Chetumal, Caribe Mexicano: variaciones estacionales durante un ciclo anual. *Revista de biología marina y oceanografía* (2016) 51(2). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572016000200008>

Sardo M.A., Pereira L., Gerhardt A., .Soares A.M.V.M., 2011. Effect of the exposure to metal lead on the regenerative ability of *Lumbriculus variegatus* (Oligochaeta) *Environmental Toxicology and Pharmacology* (2011), 31(1): 205-211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2010.10.010>

Sedue,1989. CE-CCA-001/89. CE-CCA-001/89: Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. Diario Oficial de la Federación. México, DF: Estados Unidos Mexicanos, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

Shi YH, GY Zhang, YZ Zhu, JZ Liu & WL Zang. 2010. Effects of temperature on fertilized eggs and larvae oftawny puffer *Takifugu flavidus*. *Aquaculture Research* 41: 1741- 1747.

Solé M., Kopecka-PilarczykC J., Blascoa J., 2009. Pollution biomarkers in two estuarine invertebrates, *Nereis diversicolor* and *Scrobicularia plana*, from a Marsh ecosystem in SW Spain. *Environment International* 200935(3): 523-531 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.09.013>

Suárez-Morales E., 1994. Copepodos plancticos de la Bahía de Chetumal, Mexico (1990-1991). *Caribbean Journal of Science* (1994) 30 (3-4) :181-188.

Székely A. 2009. Latinoamérica y la biodiversidad. *Hacia un instrumento regional Interamericano sobre la bioética. Experiencias y expectativas. Instituto de investigaciones jurídicas de la UNAM, México. Primera Edición:* 335-340. Impresión y comunicación Grafica S.A. de C.V.

Thompson DA, Findley L.T. & Kerstitch A.N. 1987. Reef fishes of the Sea of Cortez. The rocky-shore fishes of the Gulf of California, 301 pp. The Arizona University Press, Tucson.

Tucker JW. 1998. Marine fish culture, 750 pp. Kluwer Academic Publishers, Boston.

Uc-Peraza, R.G., 2009. Determinación de la concentración letal media (Cl<sub>50</sub>) de los sulfonatos de alquilbenceno de sodio lineal (las) en *Laeonereis culveri* (POLYCHAETA). Universidad de Quintana Roo, Chetumal, Quintana Roo, México.

Uc-Peraza, R. G., y Delgado-Blas, V. H., 2012. Determinación de la concentración letal media (cl<sub>50</sub>) de cuatro detergentes domésticos biodegradables en *Laeonereis culveri* (WEBSTER 1879). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* (2012), 28(2): 137-144.

Uribe-Botero E., 2015. El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* (2015), 51(3). Naciones Unidas, 2015. *Naciones Unidas, Santiago S.15-01295*.

Useros-Fernández J.L., 2013. Climate change: causes and environmental effects. *Académico de Número, Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid* (2013) 50: 71-98.

Valenzuela-Quiñónez W., Rodríguez-Quiroz G., Ponce-Palafox J.T. y Esparza-Leal H.M., 2011. Efecto de diferentes combinaciones de temperatura y salinidad sobre el consumo específico de oxígeno en el camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* (2011) 46(3): 303-311.

Wibowo E.S., Palupi E.S., Ratna-Puspitasari I.A. y Atang, 2019. Metabolismo y Contenido Nutricional de poliqueto *Nereis sp.* con salinidad de mantenimiento y diferentes tipos de alimento. *ILMU KELAUTAN: Revista de Ciencias Marinas de Indonesia* (2019) 24(3): 113-120.

Zajac RN. Sublethal predation on *Polydora cornuta* (Polychaeta: Spionidae): patterns of tissue loss in a field population, predator functional response and potential demographic inputs. *Marine Biology* (1995)123: 531-41.

Zapata-Vívenes E., Nusetti O., y Marcano L., 2017. Variaciones temporales de las defensas antioxidantes e índices proteína: ADN y ARN: ADN en el poliqueto

*Eurythoe complanata*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* (2017), 52(3): 529-538. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572017000300010>

Zhang G, Y Shi, Y Zhu, J Liu & W Zang, 2010. Effects of salinity on embryos and larvae of tawny puffer *Takifugu flavidus*. *Aquaculture* 302: 71-75.

---

---

# **CAPÍTULO IX.**

## **ANEXOS**

---

---

## IX. ANEXOS



Figura 19. Recolección de *Laonereis culveri* en el sitio de muestreo.





**Figura 20. Identificación de los organismos obtenidos en el muestreo.**



**Figura 21. Preparación del sedimento para los organismos.**



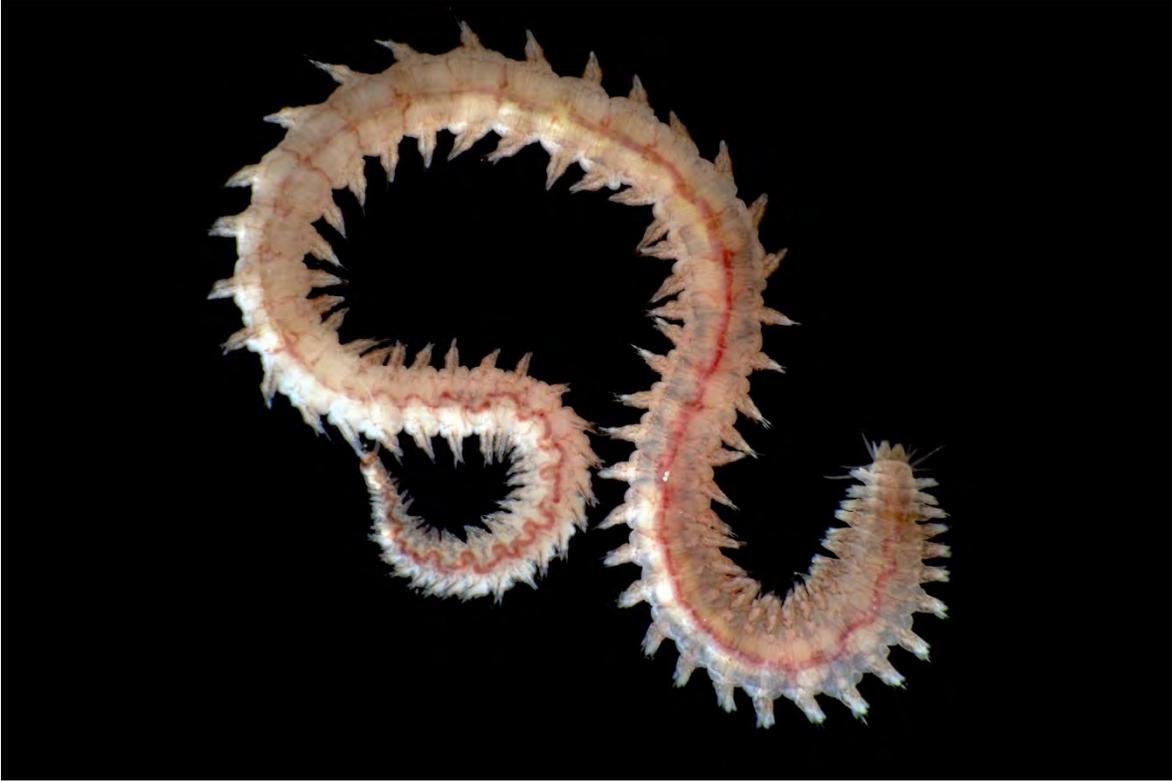
**Figura 22. Preparación de materiales para los bioensayos.**



**Figura 23. Inicio de las pruebas de salinidad.**



**Figura 24. Inicio de las pruebas de temperatura.**



**Figura 25. *Laeonereis culveri***

**TAXONOMÍA**

**Reino: Animalia**

**Filo: Annelida**

**Clase: Polychaeta**

**Orden: Aciculata**

**Familia: Nereididae**

**Género: Laeonereis**

**Especie: *Laeonereis culveri* (Webster, 1879)**