



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR**  
**POSGRADO EN CIENCIAS EN RECURSOS ACUÁTICOS**



**EFECTO DEL PARÁSITO *Octolasmis californiana* EN EL  
CICLO REPRODUCTIVO DE HEMBRAS DE LA JAIBA  
AZUL *Callinectes arcuatus* (ORDWAY, 1863) EN LA LAGUNA  
OHUIRA, AHOME, SINALOA**

**T E S I S**  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRA EN CIENCIAS EN RECURSOS ACUATICOS**

**PRESENTA:**

Biol. Breydi Marlen López López

**DIRECTORES:**

Dra. Carmen Cristina Osuna Martínez

Dr. Genaro Diarte Plata

MAZATLÁN, SINALOA, MÉXICO, ENERO DE 2025



Dirección General de Bibliotecas  
Ciudad Universitaria  
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios  
C. P. 80010 Culiacán, Sinaloa, México.  
Tel. (667) 713 78 32 y 712 50 57  
dgbuas@uas.edu.mx

## UAS-Dirección General de Bibliotecas

### Repositorio Institucional Buelna

#### Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial  
Compartir Igual, 4.0 Internacional



## RESUMEN

Aunque las jaibas presentan una gran importancia como recurso pesquero, los estudios que se han publicado sobre su potencial pesquero, ecología y biología en ambientes de la costa de México son escasos. El parasitismo de *Octolasmis californiana* en las jaibas del género *Callinectes* genera problemas en el crecimiento y posiblemente el rendimiento de la captura. El conocimiento de los efectos negativos del parasitismo ayuda en la regulación de la pesquería de *C. arcuatus*. La jaiba es uno de los principales recursos económicos y tiene una alta importancia ecológica. Considerando que las jaibas son organismos con un alto potencial pesquero, los estudios sobre el ciclo reproductivo deben realizarse con la finalidad de conocer las variaciones en las épocas de reproducción, entre otros aspectos relacionados con ello. De acuerdo con lo antes mencionado, son características importantes para desarrollar modelos predictivos del tamaño poblacional y así poder obtener criterios biológicos útiles para una adecuada administración pesquera de la especie, considerando el efecto del parasitismo. En el presente estudio se evaluó el efecto del parásito *O. californiana* en el ciclo reproductivo de hembras de la jaiba azul *C. arcuatus* en la laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa, durante el periodo de noviembre de 2022 a octubre de 2023. Se llevó a cabo la recolección e identificación de especímenes de jaiba *C. arcuatus*, registrando la abundancia de hembras, con un total de 123 organismos parasitados y 308 no parasitados, no se presentaron diferencias significativas entre ambos grupos a lo largo de los meses entre hembras maduras parasitadas y no parasitadas ( $K-W_{(H)} = 2.1829$ ;  $p = 0.1395$ ), y se presentó una prevalencia del 27 % y una intensidad de infestación de 28.53 %. En cuanto a las estructuras de tallas, la población de jaibas estuvo integrada mayormente por organismos distribuidos en el intervalo AC de 7.4 a 9.4 cm, LC de 4.8 a 5.8 cm y PT de 31.67 a 81.4 g. Las relaciones de AC-LC se ajustaron a un modelo tipo lineal tanto para hembras parasitadas ( $R^2 = 0.4832$ ;  $p < 0.05$ ), como para las no parasitadas ( $R^2 = 0.6593$ ;  $p < 0.05$ ); la relación AC-PT fue tipo potencial  $R^2 = 0.5628$ ;  $p < 0.05$  para jaibas parasitadas y  $R^2 = 0.8052$ ;  $p < 0.05$  para las no parasitadas. La talla de primera madurez externa para hembras de *C. arcuatus* parasitadas fue de  $AC_{(50)} = 8.5$  cm y para las no parasitadas fue de  $AC_{(50)} = 8.1$  cm, los análisis estadísticos evidenciaron una diferencia significativa en las tallas ( $F_{calculada} = 11.30$ ;  $F_{critica} = 3.87$ ;  $p = 0.000089$ ).

Se identificaron cuatro estadios de desarrollo gonadal en el desarrollo embrionario de la especie, tanto en individuos parasitados como no parasitados. Respecto al diámetro de los ovocitos en las jaibas, se observaron diferencias significativas entre hembras parasitadas y no parasitadas en dos estadios de desarrollo: el inmaduro ( $F= 25.6426$ ,  $P= 0.0000001$ ) y maduro ( $F= 22.98$ ,  $P= 0.001$ ). Durante el ciclo reproductivo de las hembras no parasitadas, se registraron períodos de desove en junio y julio de 2023, siendo junio el mes más activo con un 50 %, mientras que julio mostró un 20 % de actividad. En contraste, las hembras parasitadas no manifestaron actividad gametogénica a lo largo del año; sin embargo, se observó la etapa de madurez en marzo, abril y septiembre de 2023, con más del 60 % de organismos en esta etapa y un tamaño promedio de 8.49 cm de AC.

La talla de primera madurez ( $AC_{50}$ ) para hembras de jaiba azul *C. arcuatus* no parasitadas fue de 7.42 cm de AC, en el caso de las parasitadas fue 8.46 cm de AC, con un intervalo de 4 a 13 cm. en ambos casos la talla de madurez es representada en las gráficas con 8.2 cm de AC. En cuanto al análisis bioquímico de tejido gonadal, no se encontraron diferencias significativas en la concentración de lípidos entre hembras parasitadas y no parasitadas ( $K-W_{(H)}= 2.1829$ ;  $p= 0.139$ ) para el caso de la concentración de proteínas y carbohidratos si se observó un resultado significativo ( $K-W_{(H)}= 5.5882$ ;  $p= 0.018$  y  $K-W_{(H)}= 5.588$ ;  $p= 0.018$  respectivamente).

**Palabras clave:** Cirrípido, madurez, infestación, reproducción, abundancia

## ABSTRACT

Although crabs are of great importance as a fishing resource, the studies that have been published on their fishing potential, ecology, and biology in environments on the coast of Mexico are scarce. The parasitism of *Octolasmis californiana* in the crabs of the genus *Callinectes*, generates problems in growth and possibly catch performance. Knowledge of the negative effects of parasitism helps in the regulation of the fishery. *C. arcuatus*. The crab is one of the main economic resources and has a high ecological importance. Considering that crabs are organisms with a high fishing potential, studies on the reproductive cycle must be conducted in order to know the variations in the reproduction seasons, among other aspects related to it. According to the aforementioned, they are important characteristics to develop predictive models of population size and thus be able to obtain useful biological criteria for adequate fishery management of the species considering the effect of parasitism. In the present study, the effect of the parasite was evaluated *O. californiana* in the reproductive cycle of blue crab females *Callinectes arcuatus* in La Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa, during the period from November 2022 to October 2023. The collection and identification of crab specimens was carried out *C. arcuatus*, recording the abundance of females, with 123 parasitized and 308 non-parasitized organisms, there were no significant differences between both groups throughout the months between parasitized and non-parasitized mature females ( $K-W_{(H)} = 2.1829$ ;  $p = 0.1395$ ), and there was a prevalence of 27 % and an infestation intensity of 28.53 %. Regarding size structures, the crab population was mainly composed of organisms distributed in the AC interval of 7.4 to 9.4 cm, LC of 4.8. at 5.8 cm and PT from 31.67 to 81.4 g. The AC-LC relationships were adjusted to a linear model for both parasitized females ( $R^2 = 0.4832$ ;  $p < 0.05$ ) as for the non-parasitized ones ( $R^2 = 0.6593$ ;  $p < 0.05$ ), the AC-PT relationship was potential type  $R^2 = 0.5628$ ;  $p < 0.05$  for parasitized crabs and  $R^2 = 0.8052$ ;  $p < 0.05$  for non-parasitized ones. The size at first external maturity for females of *C. arcuatus* parasites was from  $AC_{(50)} = 8.5$  cm and for the non-parasitized it was  $AC_{(50)} = 8.1$  cm, statistical analyzes showed a significant difference in sizes ( $F_{calculated} = 11.30$ ;  $F_{criticism} = 3.87$ ;  $p = 0.000089$ ).

Four stages of gonadal development were identified in the embryonic development of the species, both in parasitized and non-parasitized individuals. Regarding the diameter of the oocytes in the crabs, significant differences were observed between parasitized and non-

parasitized females in two stages of development: immature ( $F= 25.6426$ ,  $P= 0.0000001$ ) and mature ( $F= 22.98$ ,  $P= 0.001$ ). During the reproductive cycle of non-parasitized females, spawning periods were recorded in June and July 2023, with June being the most active month with 50 %, while July showed 20 % activity. In contrast, parasitized females did not manifest gametogenic activity throughout the year; However, the maturity stage was observed in March, April, and September 2023, with more than 60 % of organisms in this stage and an average size of 8.49 cm AC.

The size at first internal sexual maturity for non-parasitized blue crab *C. arcuatus* females was 7.42 cm AC, and for parasitized females it was 8.46 cm AC, with a range of 4 to 13 cm. In both cases the size at maturity is represented in the graphs as 8.2 cm AC. Regarding the biochemical analysis of gonadal tissue, no significant differences were found in the lipid concentration between parasitized and non-parasitized females ( $K-W_{(H)}= 2.1829$ ;  $p= 0.139$ ). In the case of protein and carbohydrate concentrations, a significant result was observed ( $K-W_{(H)}= 5.5882$ ;  $p= 0.018$  and  $K-W_{(H)} = 5.588$ ;  $p= 0.018$  respectively).

**Keywords:** Cirripede, maturity, infestation, reproduction, abundance.

# **DEDICATORIA**

**A MIS PADRES Y HERMANAS.**

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por la beca otorgada con clave 1240448 durante el periodo de agosto de 2022- agosto de 2024.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), Facultad de Ciencias del Mar (FACIMAR) y a su cuerpo académico por el apoyo recibido.

A CIIDIR, Unidad Sinaloa, especialmente al laboratorio de Ecología y Acuicultura y al de Inmunología y Biología Celular.

A los proyectos que ayudaron a financiar esta tesis: “PROFAPI PRO\_A1\_001 "CONTAMINANTES DE LA ZONA COSTERA, NIVELES EN PRODUCTOS PESQUEROS Y EFECTOS ADVERSOS EN SERES HUMANOS" y “PROYECTO MULTIDISCIPLINARIO DE CIIDIR SINALOA, SIP: 20240438, EVALUACION DEL EFECTO DE LA MICROENCAPSULACION GÉLICA DE LA (HIERVA MANSO) *Anemopsis californica* Y BACTERIAS ACIDOLACTICAS SOBRE LA MICROBIOTA INTESTINAL, CRECIMIENTO, SUPERVIVENCIA Y SISTEMA INMUNE DEL CAMARON BLANCO *Penaeus vannamei* RETADO CON *Vibrio parahaemolyticus* IPNGD16”

A mis directores de tesis el Dr. Genaro Diarte Plata y la Dra. Carmen Cristina Osuna Martínez por sus consejos y enseñanzas. Por brindarme la confianza para llevar a cabo este Proyecto.

A mi comité tutorial, Dra. Ruth Escamilla Montes, Dra. Diana Judith López y Dr. Martín Frías por todo su apoyo en la realización de esta tesis.

A mis compañeros Roberto, Ana Sofia, por toda su ayuda durante los muestreos y el procesamiento de las muestras, así como sus consejos y críticas constructivas.

A mis compañeros y amigos que hicieron más amena mi estancia en Mazatlán y estuvieron en gran parte del proceso compartiendo buenos momentos, Amayrani, Nancy y Vania.

A mis abuelos y familia por siempre confiar y tener fe en mis capacidades.

A mis papas y hermanas por siempre brindarme su apoyo incondicional y creer en mí, por darme fuerza para nunca rendirme.

RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
GLOSARIO .....	viii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	11
2.1. Morfología de las jaibas .....	12
2.2. Biología y ecología de las jaibas .....	12
2.3. Abundancia, hábitat y distribución espacial de las jaibas .....	13
2.4. Crecimiento .....	14
2.5. Aspectos reproductivos .....	15
2.6. Etapas de desarrollo .....	17
2.7. Parasitismo .....	18
2.8. Macronutrientes esenciales .....	20
2.8.1. Proteínas .....	20
2.8.2. Lípidos .....	20
2.8.3. Carbohidratos .....	20
2.9. Ciclo de almacenamiento de energía .....	20
2.9.1. Flujo de energía y productividad de la laguna .....	23
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	25
4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	25
5. JUSTIFICACIÓN .....	26
6. HIPOTESIS .....	27
7. OBJETIVOS .....	28
7.1. Objetivo General .....	28
7.1.1. Objetivos específicos .....	28
8. MATERIALES Y MÉTODOS .....	29
8.1. Sitio de estudio .....	29
8.1. Diseño de muestreo .....	29
8.2. Identificación de las jaibas del género <i>Callinectes</i> .....	30
8.3. Obtención de <i>O. californiana</i> (huésped) .....	31

8.4. Abundancia mensual.....	31
8.5. Prevalencia e intensidad de infestación .....	32
8.6. Estructura de tallas.....	33
8.7 Relaciones Morfométricas.....	33
8.8. Reproducción .....	34
8.8.1. Grado de madurez externa.....	34
8.8.2. Proceso histológico del ciclo reproductivo .....	34
8.9. Análisis bioquímico de tejido .....	35
8.9.1. Preparación de la muestra .....	36
8.9.2. Contenido de proteínas.....	36
8.9.3. Contenido de carbohidratos.....	36
8.9.4. Contenido de lípidos.....	37
8.10. Análisis estadístico .....	38
9. RESULTADOS .....	39
9.1. Variables ambientales de la Laguna Ohuira .....	39
9.2 Abundancia de las jaibas.....	40
9.3 Abundancia del parásito <i>O. californiana</i> .....	42
9.4 Prevalencia e intensidad de infestación .....	44
9.5. Estructura de tallas.....	45
9.5.1. Ancho de cefalotórax .....	45
9.5.2. Largo de cefalotórax.....	46
9.5.3. Peso total .....	47
9.6. Relaciones Morfométricas .....	48
9.7. Reproducción .....	50
9.7.1. Madurez externa.....	50
9.7.2. Desarrollo gonadal macroscópica e histológica.....	51
9.7.2.1. Evaluación macroscópica de las gónadas (color) para hembras parasitadas y no parasitadas.....	51
9.7.3. Caracterización de los estadios gonádicos (Histología) para hembras parasitadas y hembras no parasitadas.....	54
9.7.3.1. Hembras parasitadas.....	54
9.7.3.2. Hembras no parasitadas.....	57

9.7.4. Diámetro de los ovocitos por estadio de desarrollo gonadal de las hembras de la jaiba .....	59
9.7.5. Deformidad en ovocito de hembra de jaiba azul <i>C. arcuatus</i> parasitada.....	62
9.8. Ciclo reproductivo de <i>C. arcuatus</i> no parasitadas. ....	62
9.9. Ciclo reproductivo de <i>C. arcuatus</i> parasitadas. ....	63
9.10. Ciclo reproductivo de <i>C. arcuatus</i> no parasitadas y variables ambientales.....	64
9.11. Ciclo reproductivo de <i>C. arcuatus</i> parasitadas y variables ambientales.....	65
9.12. Talla de primera madurez. ....	66
9.12.1 Hembras de jaiba azul <i>C. arcuatus</i> parasitadas y no parasitadas .....	66
9.13. Análisis bioquímico de tejido blanco (gónada) de hembras de <i>C. arcuatus</i> .....	68
9.13.1. Contenido de lípidos, proteínas y carbohidratos. ....	68
10. DISCUSIÓN.....	71
10.1. Variables ambientales de la laguna Ohuira.....	71
10.2. Abundancia de las jaibas.....	71
10.3. Abundancia del parásito <i>O. californiana</i> . ....	74
10.4. Prevalencia e intensidad de infestación. ....	77
10.5. Estructura de tallas.....	78
10.6. Relaciones morfométricas.....	81
10.7. Madurez externa (forma del abdomen).....	82
10.8. Estadios de desarrollo gonadal macroscópica e histológica. ....	83
10.9. Ciclo reproductivo. ....	88
10.10. Ciclo reproductivo y variables ambientales.....	92
10.11. Talla de primera madurez (considerando características histológicas de las gónadas en madurez, de las hembras parasitadas y no parasitadas). ....	93
10.12. Análisis bioquímico de tejido blanco (gónada) de hembras de <i>C. arcuatus</i> .....	94
11. CONCLUSIONES.....	99
12. LITERATURA CITADA.....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Características morfológicas de los abdómenes de las jaibas donde se muestran tanto los sexos como los estadios de madurez: a) macho, b) hembra madura, c) hembra inmadura, d) hembra ovígera (Tomado de Gil-López, 2009).....	2
<b>Figura 2.</b> Esquema del corte transversal de una jaiba con aberturas genitales. (Tomado de Spivak, 2016 y modificado por Vargas-Téllez, 2023).....	3
<b>Figura 3.</b> Ciclo biológico de las jaibas del género <i>Callinectes</i> . Los estadios “zoea” y “megalopa” son planctónicos (Tomado de Barnes, 1977 y Brusca, 1980). ....	4
<b>Figura 4.</b> Especímenes de <i>O. californiana</i> anclados a la cámara branquial de un decápodo del género <i>Callinectes</i> . Tomada por Verduzco-Chávez (2021). ....	9
<b>Figura 5.</b> Ciclo de vida de <i>Octolasmis californiana</i> . Tomado de Verduzco-Chávez (2021). 10	
<b>Figura 6.</b> Características sexuales externas de jaibas del género <i>Callinectes</i> (Tomado de Gil y Sarmiento, 2001). ....	12
<b>Figura 7.</b> Sitios de muestreo en la laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa, México (Tomado de Diarte-Plata, 2016).....	29
<b>Figura 8.</b> Diseño de muestreo por sitio con trampas tipo aros jaiberos en la laguna El Colorado, Ahome, Sinaloa. (Tomado de Diarte-Plata, 2016). ....	30
<b>Figura 9.</b> Margen anterior del caparazón con número de dientes frontales de a) <i>C. arcuatus</i> y b) <i>C. bellicosus</i> . (Diarte-Plata. 2016). ....	31
<b>Figura 10.</b> Medidas de un espécimen de <i>Callinectes</i> sp.: AC = ancho de caparazón y LC =largo de caparazón, considerando las espinas laterales (Tomado de Diarte-Plata, 2016)..	33
<b>Figura 11.</b> Vista ventral del cefalotórax y abdomen de <i>Callinectes</i> : a) Macho, b) Hembra madura y c) Hembra inmadura (Tomada de Diarte-Plata, 2016). ....	34
<b>Figura 12.</b> Abundancia de cada especie ( <i>C. arcuatus</i> y <i>C. bellicosus</i> ) separada por mes, en la laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa.....	40
<b>Figura 13.</b> Organismos separados por sexo (hembras y machos) para cada mes de muestreo, en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa.....	41
<b>Figura 14.</b> Estado de madurez de las hembras de <i>C. arcuatus</i> . ....	41
<b>Figura 15.</b> Abundancia de parásitos ( <i>O. californiana</i> ) en hembras maduras e inmaduras, de noviembre del 2022 a abril del 2023. ....	42
<b>Figura 16.</b> Abundancia de hembras de <i>C. arcuatus</i> parasitadas y no parasitadas, de noviembre de 2022 a octubre de 2023, en la Laguna Ohiura, Ahome, Sinaloa. a) hembras maduras, b) hembras inmaduras. ....	43
<b>Figura 17.</b> Prevalencia e intensidad de infestación de <i>O. californiana</i> en <i>C. arcuatus</i> por mes, de noviembre de 2022 a octubre de 2023 en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. a) Prevalencia (%), b) Intensidad infestación (%). ....	44

<b>Figura 18.</b> Ancho de cefalotórax en hembras parasitadas y no parasitadas de noviembre de 2022 a octubre de 2023 en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. a) hembras maduras, b) hembras inmaduras. ....	46
<b>Figura 19.</b> Largo de cefalotórax en hembras parasitadas y no parasitadas de noviembre de 2022 a octubre de 2023 en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. a) hembras maduras, b) hembras inmaduras. ....	47
<b>Figura 20.</b> Peso de hembras parasitadas y no parasitadas de noviembre de 2022 a octubre de 2023 en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. a) hembras maduras, b) hembras inmaduras. ....	48
<b>Figura 21.</b> Relaciones morfométricas de Largo de cefalotórax (LC)-Ancho de cefalotórax (AC) y Peso total (PT)-Ancho de cefalotórax (AC) de a) hembras de <i>C. arcuatus</i> parasitadas, y b) hembras de <i>C. arcuatus</i> no parasitadas. ....	49
<b>Figura 22.</b> Madurez externa de jaiba azul <i>C. arcuatus</i> parasitadas y no parasitadas en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. ....	50
<b>Figura 23.</b> Curvas de la talla de madurez externa de jaiba azul <i>C. arcuatus</i> : a) parasitadas y b) no parasitadas en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa.....	51
<b>Figura 24.</b> Hembra de jaiba azul <i>C. arcuatus</i> inmadura (etapa 1).....	52
<b>Figura 25.</b> Hembra de jaiba azul <i>C. arcuatus</i> en desarrollo de la gónada (etapa 2).....	53
<b>Figura 26.</b> Hembra de jaiba azul <i>C. arcuatus</i> madura (etapa 3).....	53
<b>Figura 27.</b> Hembra de jaiba azul <i>C. arcuatus</i> en desove (etapa 4).....	54
<b>Figura 28.</b> Estadios Histológicos del desarrollo gonadal (Hembras Parasitadas) de las jaibas <i>Callinectes arcuatus</i> : A. Inmaduro, B. Desarrollo, C. Maduro, D. Desove. AC. Acino, TC. Tejido Conjuntivo, N. Núcleo, NC. Nucléolo, ZPO. Zona de Proliferación de Oogonias, OP. Ovocito Previtelogénicos, OV-I. Ovocito en Etapa I de Vitelogénesis, OV-II. Ovocito en Etapa II de Vitelogénesis, GR. Gránulos de Reserva. RT. Restos de Tejido, RO. Resto de Ovocito. ....	56
<b>Figura 29.</b> Estadios Histológicos del desarrollo gonadal (Hembras no parasitadas) de las jaibas <i>Callinectes arcuatus</i> : A. Inmaduro, B. Desarrollo, C. Maduro, D. Desove. AC. Acino, TC. Tejido Conjuntivo, N. Núcleo, NC. Nucléolo, ZPO. Zona de Proliferación de Oogonias, OP. Ovocito Previtelogénicos, OV-I. Ovocito en Etapa I de Vitelogénesis, OV-II. Ovocito en Etapa II de Vitelogénesis, GR. Gránulos de Reserva. RT. Restos de Tejido. ....	58
<b>Figura 30.</b> Diámetro de ovocitos por estadio de desarrollo gonadal (Histología) de hembras de jaiba <i>Callinectes arcuatus</i> . a) Inmaduro, b) Desarrollo, c) Maduro y d) Desove. *diferencia significativa. ....	61
<b>Figura 31.</b> Ovocitos de jaiba azul <i>C. arcuatus</i> en etapa de desarrollo con deformidad en los folículos ováricos N. Núcleo, OV-I. Ovocito en Etapa I de Vitelogénesis, GR. Gránulos de Reserva. AT. Atresia. ....	62
<b>Figura 32.</b> Fases del ciclo reproductivo de hembras de jaiba azul <i>C. arcuatus</i> no parasitadas en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. Frecuencia relativa de los estadios de la gónada de noviembre de 2022 a octubre de 2023.....	63

<b>Figura 33.</b> Fases del ciclo reproductivo de hembras de jaiba azul <i>C. arcuatus</i> parasitadas en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. Frecuencia relativa de los estadios de la gónada de noviembre de 2022 a octubre de 2023.....	64
<b>Figura 34.</b> Fases del ciclo reproductivo de <i>C. arcuatus</i> no parasitadas, con respecto a la temperatura y salinidad de noviembre de 2022 a octubre de 2023 en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. ....	65
<b>Figura 35.</b> Fases del ciclo reproductivo de <i>C. arcuatus</i> parasitadas por el cirrípedo <i>O. californiana</i> , con respecto a la temperatura y salinidad de noviembre de 2022 a octubre de 2023 en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa.....	66
<b>Figura 36.</b> Curva de la talla de madurez de hembras a) parasitadas y b) no parasitadas de <i>C. arcuatus</i> de la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. La línea es la curva ajustada bajo un modelo sigmoideal. ....	67
<b>Figura 37.</b> Contenido de Lípidos, Proteínas y Carbohidratos (mg/ml) presentes en hembras de <i>C. arcuatus</i> a) no parasitadas y b) parasitadas por el cirrípedo <i>O. californiana</i> en la Laguna, Ohuira, Ahome, Sinaloa. ....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla I.</b> Parámetros ambientales (promedio $\pm$ D.E.) por mes, en el periodo de noviembre de 2022 a octubre de 2023 de la laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. ....	39
<b>Tabla II.</b> Resumen de las ecuaciones de regresión para las relaciones del ancho de cefalotórax (AC)-Largo de cefalotórax (LC) de <i>C. arcuatus</i> en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa, México. ....	49
<b>Tabla III.</b> Resumen de las ecuaciones de regresión para las relaciones de Ancho de cefalotórax (AC)-Peso total (PT) de <i>C. arcuatus</i> en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa, México. ....	49
<b>Tabla IV.</b> Contenido de lípidos, proteínas y carbohidratos (mg/ml) en la gónada de hembras de jaiba azul parasitadas y no parasitadas en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. ....	69

## GLOSARIO

**Balanos:** Son crustáceos pequeños que viven adheridos a las rocas u otras superficies en el mar, también pueden adherirse a otros crustáceos como jaibas o cangrejos.

**Branquias:** Es el órgano respiratorio de especies acuáticas formadas por láminas o filamentos.

**Caparazón:** Estructura cuticular usualmente calcificada, que parte del margen posterior de la cabeza, extendiéndose anterior y posteriormente, puede cubrir la cabeza y el tórax de los crustáceos.

**Ciclo reproductivo:** Secuencia de aparición de las diferentes fases de desarrollo gonádico a través del tiempo y que en general es cíclico.

**Cipris:** Fase larval de cirrípedos.

**Cirrípedos:** Crustáceos que en etapa adulta son comúnmente sésiles y viven fijados a un sustrato o a otros organismos.

**Crustáceos:** (L. Crusta, corteza, caparazón) Organismos que pertenecen al Phylum Artrópoda. La mayoría de los crustáceos tienen un esqueleto duro y calcáreo que les sirve de protección. Poseen dos pares de antenas y cinco pares de patas. La mayoría de las 20,000 especies son marinas, pero algunas se encuentran en agua dulce y otras en tierra.

**Decápodo:** (Gr. Deca, diez, Podo, pata) Animal con diez patas, específicamente de la subclase malacostráceos (crustáceos).

**Desove:** Puesta de huevos que son descargados cuando el ovario está maduro.

**Dimorfismo sexual:** Cualquier diferencia morfológica externa consistente entre machos y hembras, aparte de las diferencias primarias.

**Ectoparásito:** Tipo de parásito que vive en el exterior del hospedero.

**Ectoparasitismo:** Simbiosis donde el parásito perjudica al individuo en el exterior del cuerpo del huésped, obteniendo solo beneficio a su favor.

**Especie dominante:** Especie o grupo de especies que proporcionan la mayor parte de la producción biológica de los ecosistemas en términos de abundancia o biomasa.

**Espermáteca:** Saco o bolsa en la hembra para la recepción y almacenamiento de esperma.

**Espermatóforo:** Masa compacta de esperma la cual es transferida a la hembra.

**Estuario:** Cuerpo de agua costera semicerrada que tiene comunicación libre con el mar; fuertemente influenciada con la actividad de las mareas y en ello se mezcla el agua de mar

con agua dulce del drenaje terrestre.

**Estero:** Zona pantanosa donde un río desemboca hacia el mar.

**Estrategia reproductiva:** Factores que intervienen en la reproducción de una especie.

**Época reproductiva:** Periodo en que el mayor porcentaje de la población de hembras se encuentra en estado ovígero.

**Fecundidad:** Capacidad reproductiva potencial de una hembra (número de huevos producidos por desove).

**Gónada:** Órgano en el que tiene lugar el desarrollo de las células reproductoras o gametos.

**Hemocito:** Son células de la hemolinfa de los invertebrados cuya función es fagocitar y expulsar cuerpos extraños del organismo.

**Huevo:** Óvulo fecundado del cual, después de un periodo de desarrollo o incubación, la cría emerge o eclosiona.

**Muda:** Proceso en el que se cambia la vieja cobertura externa del cuerpo (exoesqueleto) por una nueva.

**Parasitismo:** Asociación que se produce cuando un organismo vive a expensas de otras especies, donde puede o no haber un daño.

**Pereiópodo:** Apéndices torácicos pareados, localizados en la región abdominal de los crustáceos.

**Pleópodo:** Apéndices pareados de cualquiera de las cinco somitas abdominales, adaptados para la natación.

**Quela:** La parte distal de un apéndice que semeja una pinza, una de las partes de este es móvil mientras que la otra carece de movilidad.

**Reproducción:** Proceso de replicación en el cual los organismos crean nuevos individuos.

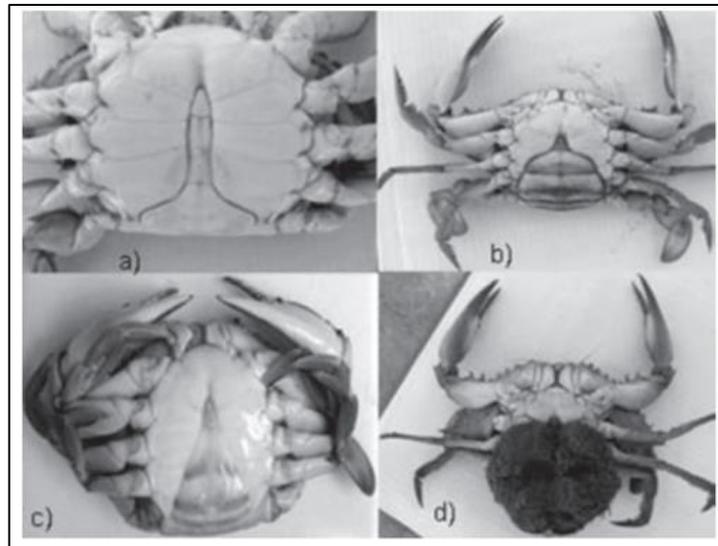
**Telson:** Porción final del abdomen de los crustáceos en donde se encuentran los urópodos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las jaibas (familia Portunidae) son crustáceos decápodos que se distribuyen en ambientes costeros templados y tropicales con sustrato suave (fondos lodosos y arenosos); normalmente se encuentran en zonas de manglar, desembocaduras de ríos, estuarios y lagunas costeras, así como en la plataforma continental hasta los 40 m de profundidad, también se han registrado densidades altas en sitios con macroalgas y pastos marinos (Hernández-Moreno, 2000).

Los portúnidos dependen de los sistemas lagunares, ya que durante su ciclo de vida que incluye estadios planctónicos, nectónicos y bentónicos, se desarrollan entre hábitats lagunarios y marinos. Ecológicamente, son clave en la cadena trófica como presas y depredadores voraces. Son omnívoros, detritívoros y carroñeros, con hábitos diurnos, clasificados como carnívoros oportunistas que depredan moluscos y crustáceos, regulando poblaciones en sustratos suaves, duros y desprotegidos. Su equipo de depredación eficiente incluye quelas desarrolladas, un molino gástrico calcificado y una anatomía fuerte y ligera (Diarte-Plata, 2016).

En general, se considera que la distribución de las especies del género *Callinectes* está relacionada con las condiciones oceanográficas requeridas para la eclosión de sus huevecillos, supervivencia de larvas y procesos de muda (Diarte-Plata, 2016). Debido a esto, a lo largo de su ciclo de vida, las jaibas realizan movimientos locales en los sistemas costeros. Su ciclo de vida se inicia con el apareamiento de machos y hembras que dura uno o dos días, mientras la hembra regenera el caparazón. Las jaibas son organismos dioicos (sexos separados) con dimorfismo sexual externo cuya característica más notable es la forma del abdomen (Fig. 2). Para transferir el esperma a la espermateca de la hembra, el macho la abraza durante uno o dos días hasta que su exoesqueleto endurece después de una ecdisis denominada ecdisis pubertal (Key *et al.*, 1999). Posteriormente, el esperma fecunda los óvulos y la hembra desarrolla una masa ovígera en el abdomen (Fig. 1-d), inicialmente de color naranja, cuyo volumen y número de huevecillos se relacionan con el tamaño de la jaiba (Castañeda-Fernández de Lara, 2015).

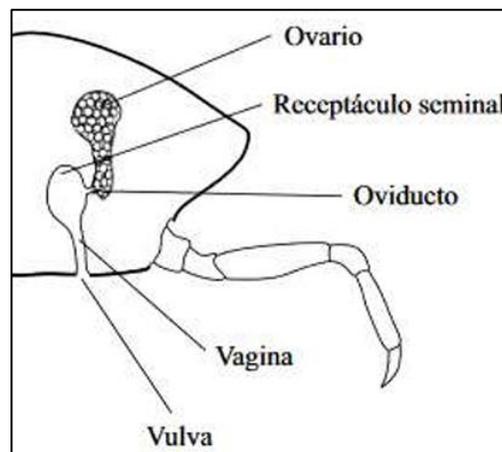


**Figura 1.** Características morfológicas de los abdómenes de las jaibas donde se muestran tanto los sexos como los estadios de madurez: a) macho, b) hembra madura, c) hembra inmadura, d) hembra ovígera (Tomado de Gil-López, 2009).

Las hembras solo se aparean una vez durante toda su vida, y lo hacen cuando todavía están en su fase inmadura a punto de pasar a la madurez, cuando las hembras están listas para mudar en su etapa de reproducción, liberan feromonas para atraer al macho, que se coloca sobre su caparazón (Palacios-Fest, 2002; Castro-Longoria *et al.*, 2003). La mayoría de los apareamientos se producen en zonas con baja salinidad, ya que los machos permanecen en zonas salobres durante la etapa adulta. La temporada reproductiva es durante la primavera-verano (hemisferio norte), a una temperatura aproximada de 23 °C. Cuando la hembra está lista para mudar, se separa y antes de que endurezca de nuevo el caparazón se realiza la cópula. Cuando este proceso termina, los machos se quedan junto a la hembra hasta que el caparazón endurece. La cópula suele durar de 5 a 12 horas y el esperma se guarda en el receptáculo seminal para garantizar futuras fecundaciones (Navarro-García, 2021).

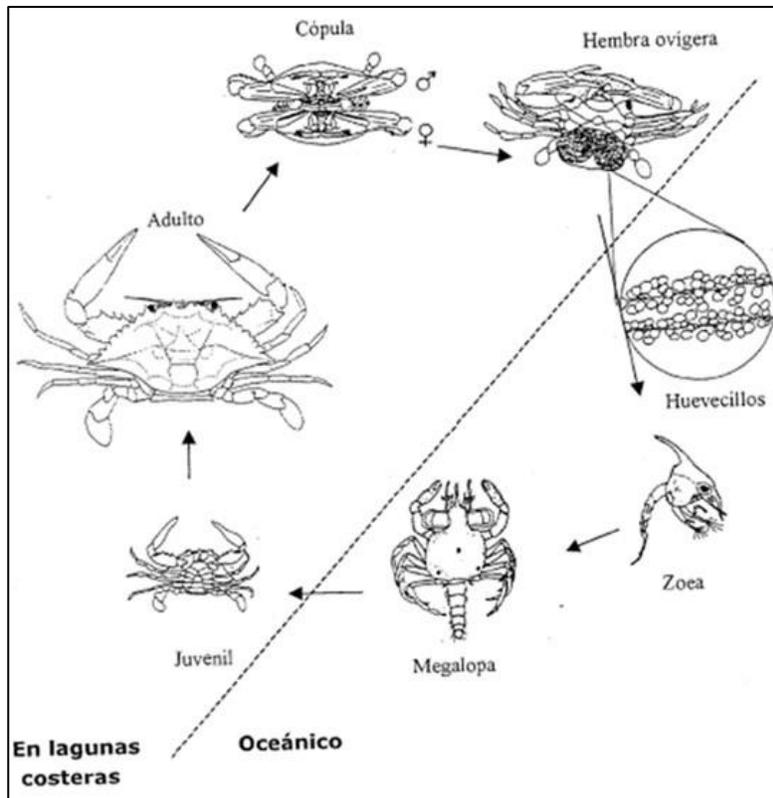
La fertilización es interna, los machos colocan los espermátóforos directamente en los receptáculos seminales de la hembra, donde se almacena el esperma luego de la cópula y hasta la fertilización de los ovocitos (Ruppert & Barnes, 1991). El sistema reproductivo de las hembras presenta una conexión característica entre espermatéca y el ovario, la cual permite determinar el tipo de fecundación de la especie, la conexión ventral de la espermatéca con el oviducto sería un indicativo de que la fecundación es interna, en hembras con este tipo

de conexión los ovocitos son liberados a través del oviducto, desde la parte ventral de la espermateca donde se encuentran los espermatozoides, ocurriendo así la fecundación. Luego, los ovocitos ya fecundados son liberados a través de la “vagina” hacia el abdomen de la hembra (Merari Goldstein & Enrique Dupré, 2010). Los ovarios de las hembras están unidos a lo largo de la línea media por un delgado istmo. Ambos ovarios se observan en forma una letra “H”. En cuanto al color, éste cambia durante su maduración, va desde pequeños y transparentes hasta extensos e intensamente coloreados cuando están maduros. El tracto reproductivo de las hembras incluye vulva, vagina, receptáculo seminal o espermateca (donde se almacenan los espermatozoides) y oviducto, que conecta con el ovario (Fig.2) (Vargas-Téllez, 2023).



**Figura 2.** Esquema del corte transversal de una jaiba con aberturas genitales. (Tomado de Spivak, 2016 y modificado por Vargas-Téllez, 2023)

Las hembras mantienen en la región abdominal los huevecillos de aproximadamente 1 mm de diámetro durante tres semanas aproximadamente, después se alejan de los cuerpos de agua costeros y la eclosión de los huevos se realiza en mar abierto; posteriormente, eclosiona una larva en estadio “zoea” que alcanza hasta unos 4.6 mm de largo y muda entre siete y ocho veces hasta cambiar al estadio “megalopa”, de unos 6 mm de largo. Cuando llega a este estadio, nada hacia la costa y, por último, mediante una metamorfosis, obtiene la forma definitiva de jaiba (juvenil) y se desarrolla en el ambiente bentónico (Fig. 3). Se estima que estas especies pueden vivir hasta cuatro años y se pueden reproducir desde el primer año de vida (Hernández-Moreno, 2000).



**Figura 3.** Ciclo biológico de las jaibas del género *Callinectes*. Los estadios “zoea” y “megalopa” son planctónicos (Tomado de Barnes, 1977 y Brusca, 1980).

La muda es el indicativo de un complejo proceso en el que básicamente todos los tejidos están involucrados; hay movilización de reservas, un aumento de la división celular y modificación del comportamiento. Los crustáceos como *C. arcuatus* presentan mudas recurrentes a lo largo de la primera parte de su vida, empezando por las mudas metamórficas de la fase larvaria y continuando con las mudas de crecimiento hasta alcanzar la edad adulta. Estos cambios son más frecuentes en las etapas tempranas de la vida del animal y se vuelven menos comunes o incluso inexistentes en los adultos. Además, hay mudas que no implican un aumento en tamaño o peso, como aquellas relacionadas con el ciclo reproductivo, durante las cuales se producen transformaciones como la formación de estructuras (sedas ovígeras) para sostener los huevos durante la época de reproducción. Entre los factores internos que modifican la frecuencia de la muda, se encuentran los procesos reproductivos tales como maduración gonadal, vitelogénesis y maduración sexual (Petriella y Boschi, 1997).

La gametogénesis en crustáceos es regulada por una serie de hormonas. La hormona inhibidora de las gónadas (GIH) es un neuropéptido tipo II secretado en el complejo endocrino Órgano X/glándula sinusal perteneciente a la familia de hormonas hiperglucemiantes de crustáceos. La GIH, también denominada hormona inhibidora de la vitelogenénesis (VIH, del inglés Vitellogenesis inhibiting hormone), se ha relacionado directamente con el proceso de reproducción, ya que incide directamente en la inhibición del proceso de vitelogenénesis, mediante un mecanismo de regulación negativa de la expresión de la vitelogenina a nivel de ovario y hepatopáncreas, que son sus sitios de síntesis. La molécula vitelogenina es la precursora del vitelo, que es acumulada en los ovocitos y es el componente proteico fundamental de la yema que sirve de alimento durante el desarrollo embrionario y el primer estadio larval. Además, se ha relacionado con el aporte de minerales, lípidos y otros componentes esenciales (González-Ferriol *et al.*, 2018).

La hormona inhibidora de las gónadas ha sido identificada como la principal responsable de la regulación de la maduración ovárica, mediante un control negativo de la expresión génica de la vitelogenina/vitelina. Además, se han descrito una serie de factores hormonales estimuladores de las gónadas que intervienen en los diferentes pasos del proceso, cuyas rutas de acción están muchas veces interconectadas y sus actividades se encuentran altamente reguladas. La glándula supraóptica (GSH) producida por el cerebro y/o ganglio torácico, inducirá en las hembras de crustáceos, el crecimiento gonadal y el desarrollo de la vitelogenénesis secundaria, mediante la incorporación de vitelogenina al ovocito (Vázquez-Islas, 2014).

Un análisis detallado de la estructura microscópica de los ovarios proporciona una comprensión más profunda del desarrollo de la célula germinal femenina, el ovocito, durante el proceso de oogénesis, y de los cambios cíclicos que caracterizan la reproducción de las jaibas del género *Callinectes*. La oogénesis comprende una serie de etapas que abarcan desde la formación del oogonio hasta la maduración del ovocito. Para una descripción exhaustiva de este proceso, es esencial examinar varios aspectos clave, como la localización de las oogonias en la zona germinal del ovario y el proceso mediante el cual estas células dan origen a los ovocitos. Esto implica observar las características morfológicas celulares a lo largo de

las diferentes fases de desarrollo, desde el crecimiento primario inicial hasta el crecimiento secundario tardío.

El desarrollo del ovocito implica incrementos activos y complejos en el ooplasma, así como la acumulación de nutrientes en estructuras como las plaquetas vitelinas y las gotitas de lípidos en el ooplasma, en una secuencia precisa de cambios. Estos cambios morfológicos en el ooplasma son indicativos de las diferentes etapas de los ovocitos durante la oogénesis y, por ende, de la fase del ciclo reproductivo del individuo. Esta secuencia de maduración sirve como fundamento para los análisis de reproducción en esta especie y puede ser identificada y cuantificada mediante examen histológico. Además de lo anterior, es relevante mencionar que el entorno microscópico de los ovarios de las jaibas del género *Callinectes* revela también la presencia de células especializadas (célula teca), que desempeñan una función crucial en el soporte y la regulación del desarrollo gonadal, así como en la producción y liberación de hormonas sexuales. Estas células, junto con otros componentes del tejido ovárico, participan en la maduración y liberación de los ovocitos, así como en la coordinación de los procesos hormonales necesarios para el ciclo reproductivo. Además, proporcionan un entorno favorable para el desarrollo y la protección de las células germinales en diferentes etapas de maduración. Una célula teca específica que se encuentra en los crustáceos, incluyendo las jaibas del género *Callinectes*, es la célula teca intersticial, la cual se encuentra en los tejidos gonadales de los crustáceos y desempeñan una función importante en la regulación hormonal y el soporte estructural durante el desarrollo y la maduración de los ovocitos (Brown, 2009).

La jaiba tiene un alto potencial reproductor que garantiza su conservación, a pesar de su alta mortalidad larval. Dependiendo de la especie, las hembras pueden producir de uno a ocho millones de huevos. En el caso específico de *C. arcuatus*, se han registrado valores de fecundidad en el intervalo de 228,862 huevecillos para una hembra de 72 mm de ancho del caparazón (AC), hasta 2,522,020 huevecillos para una hembra de 95 mm de AC y promedio de 793,798 huevecillos (Cisneros-Mata *et al.*, 2014). Es considerada como un recurso que sostiene pesquerías artesanales y procesos industriales importantes en el ámbito nacional. La jaiba, por su volumen, se encuentra posicionada en el lugar ocho y en cuanto a su valor de la producción pesquera y acuícola, se encuentra posicionada en el lugar seis. La tasa media de

crecimiento anual de la producción en los últimos 10 años es de 8.43 % (Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca, 2020).

El aprovechamiento del recurso de la jaiba se debe básicamente a la disminución de las capturas de camarón en los sistemas lagunares. Los jaiberos sostienen importantes pesquerías en varias partes del mundo, en México es un recurso que se aprovecha en todos los litorales y sistemas lagunares por medio de artes de pesca tradicionales y sencillos como las atarrayas, las fisgas, las redes de enmalle, los aros jaiberos o nasas, la red cuchara o sacadoras, las trampas y los ganchos (Gil-López, 2009).

La pesquería de jaiba cuenta con una Norma Oficial Mexicana (NOM-039-PESC-2003; DOF, 2006) en aguas de jurisdicción federal del litoral del océano Pacífico, en la cual, entre otras especificaciones, prohíbe la captura de hembras ovígeras y define la talla mínima de captura de 115 mm de AC para *Callinectes bellicosus* y de 95 mm para *C. arcuatus*. Se publicó una veda en la pesca de jaiba, la cual entró en vigor en 2013 y que comprende dos etapas: la primera se implementa una veda total para organismos de ambos sexos en el periodo de 1 de mayo al 30 de junio, y para hembras en el periodo de 1 de julio al 31 de agosto de cada año (DOF, 2012).

En cuanto al parasitismo, este es entendido como la asociación entre dos organismos (hospedador y parásito), ha sido descrito como una relación ecológica, donde el parásito depende completamente de su hospedador, quien representa el hábitat y también tiene los recursos alimenticios para que el otro se desarrolle. El parásito puede tener varios estados ontogenéticos, por lo que puede necesitar a diversos hospedadores durante su vida, lo que implica que las vías de transmisión varíen entre un estado y otro. Los crustáceos han tenido una función importante en la transmisión de parásitos, ya que muchas especies actúan como primeros o segundos hospedadores intermediarios de endoparásitos, lo que contribuye a su desarrollo y dispersión (Leiva *et al.*, 2015).

En este sentido, los balanos *Octolasmis* sp. se asocian principalmente como ectoparásitos corporales en equinodermos, moluscos, langostas, isópodos, peces, serpientes marinas y cangrejos. Los especímenes adultos de *Octolasmis* dependen de sus hospederos como sustrato, protección y nutrición (Verduzco-Chávez, 2021).

Los octolasmidos son crustáceos altamente modificados y son considerados cosmopolitas debido a que existe registro de ellos en todo el mundo, se encuentran distribuidos desde mares tropicales hasta mares templados, en cuanto al sustrato, estos organismos prefieren los fondos suaves (lodosos o arenosos). El parásito *O. californiana* se distribuye ampliamente por todo el océano Atlántico y generalmente usa como hospederos a otros portúnidos (Jeffries *et al.*, 1995).

En el caso de las especies *Octolasmis* que infestan cangrejos portúnidos, la larva cipris entra en la cámara branquial con la corriente respiratoria inhalante del cangrejo. Es en este periodo cuando la supervivencia del balano puede ser más afectada, ya que la larva puede ser removida por la acción de los epipoditos del segundo y tercer par de maxilípedos o por el flujo ventilatorio inverso que realiza sobre sus branquias el cangrejo, estos dos mecanismos se utilizan para remover el detritus y materia orgánica acumulada en las cámaras branquiales (Verduzco-Chávez, 2021). Si la cipris finalmente se cementa en las branquias, lo hace en el margen de las láminas branquiales. Ambas anténulas se adhieren por la secreción de proteínas de las glándulas cementantes que se encuentran dentro del cuerpo de la larva, posteriormente las anténulas se doblan y, de esta manera, el cuerpo de la cipris gira sobre el borde de las láminas. Después de la metamorfosis, emerge el balano juvenil y posteriormente el adulto de *Octolasmis* (Celis-Villalba, 2009).

Los balanos adultos se alimentan de partículas que entran a través de la corriente ventilatoria, por lo que puede causar daño al hospedero, ya que le evita derivar nutrientes directamente de sus fluidos internos. La presencia del ectocomensal en las branquias del cangrejo puede dañar la ventilación por varias vías, pues impide la circulación de agua que permite el intercambio gaseoso. Cuando el balano crece, secreta más cementante, lo que causa una mayor obstrucción. Esto puede tener un efecto relativamente menor, debido a la gran cantidad de láminas presentes en las cámaras branquiales. Otro daño puede ser que el balano consume el oxígeno del agua del sistema respiratorio del cangrejo para su propio metabolismo. Un tercer problema es que el balano puede crear una obstrucción fisiológica del sistema ventilatorio, lo que podría incrementar la turbulencia en la cámara branquial, resultando como consecuencia un aumento en el costo de ventilación. Adicionalmente, el balano podría crear un área de tejido branquial pobremente ventilada (Celis-Villalba, 2009).



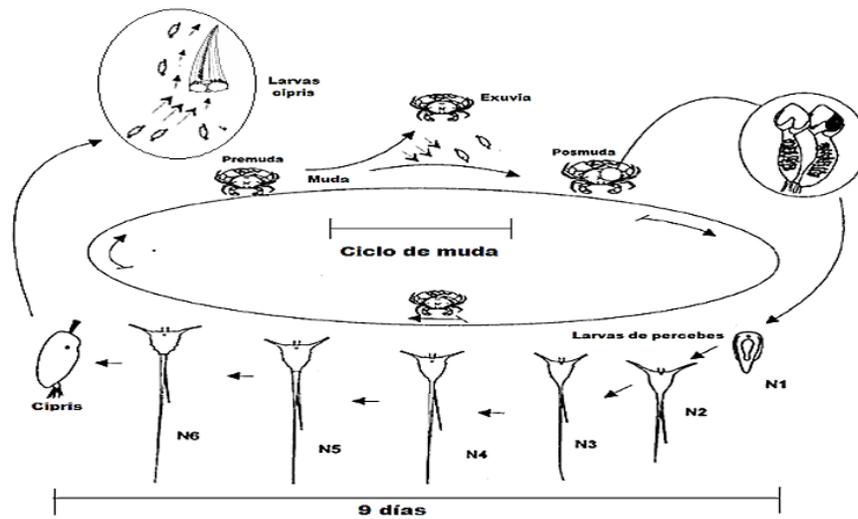
**Figura 4.** Especímenes de *O. californiana* anclados a la cámara branquial de un decápodo del género *Callinectes*. Tomada por Verduzco-Chávez (2021).

Un posible efecto a largo plazo es que la presencia del balano puede impedir la limpieza de las branquias, permitiendo que otros balanos ataquen y aumente la acumulación de sedimento en las cámaras branquiales. Si la infestación de balanos es elevada, la cementación no solamente ocurre en las branquias sino también en otros lugares como la parte externa del caparazón, las paredes de las cámaras branquiales y los epipoditos. Si se llega a esta situación, el estrés al que se ve sometido el cangrejo es mayor, además de que se dificultará su capacidad de movimiento debido a la presencia de un gran número de balanos, lo que lo pondrá en una posición de vulnerabilidad ante otros parásitos y depredadores (Celis-Villalba, 2009).

Las larvas cypis son selectivas, lo que quiere decir que buscan lo que más les conviene para su nutrición y protección, y para esto utilizan indicadores como las corrientes de agua, textura de la superficie, contornos, presión, factores químicos, etc. Además, estas larvas utilizan las cerdas, apéndices caudales, ojos compuestos, ojo nauplio, el complejo filamentosos frontal, el órgano sensorial apical antenular y la cerda terminal del cuarto segmento antenular para explorar el sustrato. Cuando por fin llegan a cementarse, lo hacen adhiriendo las anténulas a las láminas branquiales, mediante la secreción de proteínas de las glándulas cementantes que se encuentran dentro del cuerpo de la cypis, después de adherirse, sucede la metamorfosis que da lugar al balano juvenil y posteriormente al adulto (Fig. 5) (Walker, 1974).

Los octolasmidos cumplen con una etapa larval planctónica, seguida de asentamiento y metamorfosis, completando su ciclo de vida durante la etapa de ecdisis del hospedero, la etapa fundamental de todos los percebes es la larva cypis, que presenta una duración variable,

ya que depende del tiempo que tarda en encontrar un hospedero adecuado para establecerse (Verduzco-Chávez, 2021).



**Figura 5.** Ciclo de vida de *Octolasmis californiana*. Tomado de Verduzco-Chávez (2021).

El hospedero solo se ve afectado por la presencia del parásito cuando este se encuentra en grandes cantidades, pues puede ocasionarle efectos negativos como por ejemplo el intercambio gaseoso, debido a que la presencia del balano secreta exceso de sedimento en las branquias (Verduzco-Chávez, 2021).

## 2. ANTECEDENTES

El nombre científico de *Callinectes* se deriva del latín, *Calli*, hermoso y *nectes* nadador, la traducción literal sería “hermoso nadador”, las jaibas son uno de los grupos de macroinvertebrados más abundantes en los sistemas lagunares y soportan pesquerías comerciales y domésticas importantes en el océano Pacífico mexicano (Ramírez-Félix *et al.*, 2003). Tienen una función primordial en la cadena trófica, son presas de muchas especies y depredadores de otras. Las jaibas son cangrejos de la familia Portunidae (Crustacea: Decápoda), que se distinguen de otros crustáceos por presentar un caparazón ancho, aplastado dorsoventralmente, pertenecen al género *Callinectes*. Se caracterizan por tener de cuatro a nueve dientes anterolaterales, el diente lateral a menudo más largo que los demás. Presentan frente sin rostro, dividida en dientes o lóbulos más o menos rectos con una pequeña hendidura mediana, tienen un cuadro bucal de forma cuadrangular y el dácilo de los pereiópodos sin fuertes espinas (FAO, 1995).

La clasificación taxonómica es la siguiente:

Phylum: Arthropoda

Subphylum: Mandibulata

Clase: Crustacea

Subclase: Malacostraca

Superorden: Eucarida

Orden: Decapoda

Suborden: Pleocyemata

Infraorden: Brachyura

Superfamilia: Portunoidea

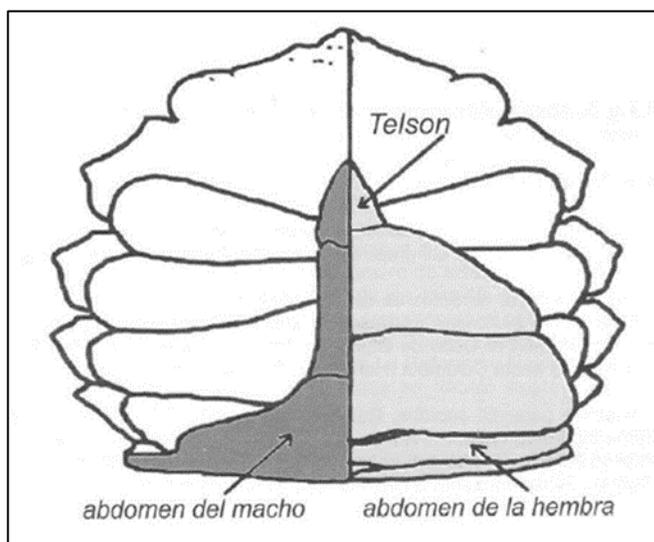
Familia: Portunidae

Género: *Callinectes*

Especie: *C. arcuatus* (Ordway, 1863)

## 2.1. Morfología de las jaibas

Las jaibas exhiben dimorfismo sexual. Los machos presentan un pliegue abdominal largo y delgado en forma de T invertida, que en los especímenes inmaduros está pegado al abdomen y en los maduros cuelga libremente, en cambio, las hembras se caracterizan por el abdomen triangular y sellado al cuerpo, en el caso de las inmaduras y redondeado y ancho en el caso de las maduras (Fig. 6). Las hembras ovígeras son todas aquellas con huevos expuestos en sus diferentes estadios gonádicos (Ramírez-Félix *et al.*, 2003).



**Figura 6.** Características sexuales externas de jaibas del género *Callinectes* (Tomado de Gil y Sarmiento, 2001).

## 2.2. Biología y ecología de las jaibas

En el océano Pacífico, el género *Callinectes* incluye las especies *C. arcuatus* (Ordway, 1863) y *C. bellicosus* (Stimpson, 1859), que se distribuyen desde el sur de California, Estados Unidos (E.E.U.U.), hasta Perú. Estas especies son meroplanctónicas, mostrando una distribución ontogenética diferencial: sus fases larvales son pelágicas, mientras que las fases bentónicas se desarrollan en lagunas costeras y estuarios, donde crecen y se reproducen (DOF, 2014).

Desde una perspectiva biológica y ecológica, las jaibas del género *Callinectes* se clasifican como estrategias “r”. Esto significa que presentan alta fecundidad, crecimiento rápido, madurez sexual temprana, altas tasas de mortalidad y un ciclo de vida corto (Carmona-Suárez, 2009). En la costa atlántica, las larvas zoeas se alimentan filtrando fitoplancton y

zooplancton de 45 a 80  $\mu\text{m}$ . Las megalopas bentónicas, por otro lado, son omnívoras oportunistas que capturan activamente sus presas con sus quelas. Los juveniles y adultos son depredadores omnívoros oportunistas, detritívoros, carnívoros y caníbales, alimentándose de moluscos, detrito, algas, peces, jaibas y otros crustáceos. Los juveniles suelen alimentarse por la noche o en la mañana, mientras que los adultos lo hacen durante el día (Paul, 1981; Guillory *et al.*, 2001; Rodríguez-Rojero, 2004; Arimoro e Idoro, 2007; Wilcox, 2007). En la región sur de Sinaloa, se observó que la jaiba azul (*C. arcuatus*) y la jaiba negra (*C. toxotes*) se alimentan principalmente de moluscos bivalvos y detritus (Paul, 1981).

Los organismos del género *Callinectes* son abundantes en los fondos blandos de zonas estuarinas y la ribera marina adyacente. Estos crustáceos pueden tolerar un amplio intervalo de salinidades y temperaturas que varían entre 20 y 32 °C. Se asocian frecuentemente con comunidades de camarones y presentan una distribución heterogénea en función de sus tamaños y sexos. En el canal de Infiernillo-Bahía de Kino (Golfo de California), se ha documentado segregación sexual de la jaiba café, con una proporción de machos que varía entre el 64% y el 85% a lo largo del año, reduciéndose al 39% en zonas situadas al sur de esta región (DOF, 2014).

### **2.3. Abundancia, hábitat y distribución espacial de las jaibas**

El análisis de la distribución y abundancia de *C. arcuatus* en un sistema lagunar de Sinaloa reveló que su mayor abundancia se encuentra en ambientes fangosos de los esteros, sin evidencia de reparto de recursos con otras especies de jaiba (Paul, 1982). En contraste, los estudios sobre jaibas en los estados de Oaxaca y Chiapas son limitados, y solo se han registrado las especies *C. arcuatus*, *C. toxotes* y *C. bellicosus* en el mar Muerto y en el sistema lagunar Huave (Chávez, 1979; Gamboa-Contreras, 1992).

En diversos estudios se ha proporcionado información valiosa sobre la biología y ecología de las jaibas del género *Callinectes*, en particular *C. arcuatus* y *C. bellicosus*. Villareal (1992) investigó *C. arcuatus* en el delta del río Colorado y descubrió que la abundancia de esta especie está influenciada por la temperatura del agua. No se observaron jaibas cuando la temperatura descendía por debajo de 14 °C en enero; mientras que, una mayor abundancia se registró a temperaturas elevadas de 34 °C en julio. Escamilla-Montes (1998) amplió este conocimiento al estudiar *C. arcuatus* y *C. bellicosus* en la laguna de La Paz, donde encontró

que *C. arcuatus* alcanza su mayor abundancia en verano (agosto); mientras que, *C. bellicosus* es más abundante en invierno (febrero). Escamilla-Montes (1998) también contribuyó al conocimiento de la biología de las jaibas en el Estero el Conchalito, Ensenada de la Paz, Baja California Sur, reportando una proporción sexual de aproximadamente 3.4:1, con más machos que hembras, es decir, alrededor de cuatro machos por cada hembra.

Por su parte, Arciniega-Flores y Mariscal-Romero (2013) reportaron en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco, que la mayor abundancia de *C. arcuatus* se observó en octubre con 104 individuos, en contraste con la menor abundancia en agosto, donde se registraron solo seis jaibas. En otro análisis comparativo en la bahía Santa María de La Reforma, Sinaloa, Rodríguez-Domínguez (2014) encontró que la pesquería de *C. bellicosus* estaba en su máximo rendimiento sin signos de sobreexplotación, mientras que *C. arcuatus* se encontraba en fase de subexplotación. Más recientemente, Diarte-Plata (2016) llevó a cabo una investigación en la laguna El Colorado, Ahome, Sinaloa, y concluyó que la distribución de las jaibas juveniles y adultas del género *Callinectes* está determinada por una combinación compleja de factores abióticos, tróficos y bióticos.

#### **2.4. Crecimiento**

La comprensión de la estructura de tallas y el crecimiento de los individuos de *C. arcuatus* y *C. bellicosus* es esencial para la gestión efectiva de las pesquerías y la sostenibilidad de los recursos. Conocer en detalle los patrones de crecimiento de estas especies permite hacer estimaciones más precisas sobre su tamaño y disponibilidad, lo que puede conducir a una mejor regulación de la pesca para evitar la sobreexplotación.

Arciniega-Flores y Mariscal-Romero (2013) llevaron a cabo un estudio sobre la estructura poblacional y el crecimiento de *C. arcuatus* en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco. Encontraron que las hembras presentaban tamaños que variaban de 33.5 a 109.5 mm en ancho de cefalotórax (AC). Las hembras inmaduras, identificadas por un abdomen triangular sellado al cuerpo, medían entre 33.5 y 87 mm AC. La talla promedio de primera madurez para las hembras fue de 86 mm AC, lo que correspondía a una edad aproximada de 0.99 años, a partir de la cual las hembras alcanzan la madurez sexual.

Se analizó la población de *C. arcuatus* en el sistema lagunar Mar Muerto Oaxaca-Chiapas, México, entre marzo de 2005 y febrero de 2006 y se reportó una longitud media de 105 mm

AC, con un intervalo de 55 a 153 mm AC, y un peso de entre 10 y 260 g. Los parámetros de crecimiento obtenidos mediante el modelo de von Bertalanffy mostraron una tasa de crecimiento de  $k = 0.86 \text{ año}^{-1}$ , con una longitud máxima teórica de 157.8 mm AC (Labastida-Che y Núñez-Orozco, 2015).

En la Laguna El Colorado, Ahome, Sinaloa, Diarte-Plata (2016) determinó que la talla de primera madurez de *C. arcuatus* en hembras era de 8.62 cm AC, según un estudio realizado de marzo de 2012 a marzo de 2013. Este hallazgo complementa los registros de talla mínima de madurez para hembras de *C. arcuatus* en el estero Conchalito, Ensenada de La Paz, B.C.S., donde Escamilla-Montes (1998) reportó una talla mínima de madurez de 11 cm AC.

Por su parte, Escamilla-Montes *et al.* (2020) evaluaron el crecimiento de *C. bellicosus* también en la laguna El Colorado, Sinaloa. Los parámetros de crecimiento estimados mediante el modelo estacionalizado de von Bertalanffy indicaron que las hembras alcanzaron una longitud máxima teórica ( $L_{\infty}$ ) de 169 mm con una tasa de crecimiento ( $k$ ) de  $0.90 \text{ año}^{-1}$ ; mientras que, los machos alcanzaron una  $L_{\infty}$  de 178.5 mm y una tasa de crecimiento de  $1.20 \text{ año}^{-1}$ . La edad a la que ambos sexos alcanzaron el crecimiento máximo fue entre los 3 y 4 años. Las tasas de crecimiento fueron de 23.67 mm/mes para los machos y de 12.62 mm/mes para las hembras. Además, se observó que el crecimiento de las hembras era alométrico ( $b \neq 3$ ), creciendo más en peso que en talla, en contraste con los machos que presentaron un crecimiento isométrico ( $b = 3$ ), con crecimiento uniforme en talla y peso.

Verduzco-Chávez (2021) examinó la influencia de la infestación por *O. californiana* en las jaibas del género *Callinectes* en la Laguna El Colorado y encontró que las hembras infestadas alcanzaban su crecimiento máximo entre los 6 y 7 años; mientras que, en las hembras no infestadas se observó un máximo crecimiento entre los 5 y 6 años. Las tasas de crecimiento fueron de 1.18 mm/mes para las hembras infestadas y de 1.52 mm/mes para las no infestadas.

## **2.5. Aspectos reproductivos**

La gestión sostenible de pesquerías depende en gran medida de una comprensión profunda del ciclo reproductivo de las especies involucradas, particularmente del reconocimiento de los períodos de máxima reproducción. Esta comprensión permite realizar estimaciones precisas sobre la disponibilidad de las especies para su explotación y establecer márgenes de variabilidad aceptables para el manejo efectivo (Castañeda-Fernández *et al.*, 2016).

El género *Callinectes* ha sido objeto de diversos estudios enfocados en la caracterización de sus ciclos reproductivos en diferentes regiones. Por ejemplo, Estudios en algunas regiones refuerzan la importancia de las condiciones ambientales en la regulación del ciclo reproductivo. En el estero El Conchalito, Baja California Sur, Escamilla-Montes (1998) observó que la madurez en *C. arcuatus* ocurría entre octubre y diciembre, con la reproducción extendiéndose de noviembre a abril, y determinó que la talla mínima de madurez gonádica en hembras era de 110.06 mm AC. Similarmente, Baptista *et al.* (2005) en Balneário Shangri-lá, Brasil, documentaron que la madurez en hembras de *C. danae* se concentraba principalmente entre mayo y agosto, con un tamaño de inicio de madurez (LC50) de 52.7 mm.

Brown (2009) estudió especímenes de *C. sapidus* en la bahía de Tampa, Florida E.E.U.U., donde observó que los ovocitos en fase final de crecimiento secundario eran más comunes entre diciembre y marzo, con la presencia de hembras ovígeras limitada a noviembre y diciembre. Esto contrasta con la mayoría de los estudios, donde se observa un patrón reproductivo más continuo o desplazado hacia meses más cálidos.

En la laguna El Colorado, Sinaloa, Diarte-Plata (2016) reportó actividad reproductiva durante todo el año, pero identificó niveles máximos de desove entre septiembre de 2012 y marzo de 2013, correlacionados con las variaciones en la temperatura del agua. Esto destaca la sensibilidad de las etapas reproductivas a los cambios ambientales, observándose un aumento en la frecuencia de organismos en madurez y desove durante los meses de verano.

En Bahía Magdalena, Castañeda-Fernández *et al.* (2016) identificaron un nivel máximo reproductivo en las hembras de jaiba durante agosto en los años 2013 y 2014. Este patrón, sin embargo, mostró variabilidad en 2015 en la laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur, donde el periodo reproductivo inició en mayo, alcanzando su nivel máximo en octubre, con evidencia de reabsorción hasta diciembre. Este desfase se relacionó con las temperaturas cálidas del agua, influenciadas por el fenómeno de El Niño.

Finalmente, Navarro-García (2021), en las golias de Albufera de Valencia, España, también notó un patrón similar en *C. sapidus*, con la mayor proporción de hembras maduras y ovígeras registradas entre marzo y agosto, y un nivel máximo en mayo. En contraste, durante los meses más fríos, como abril, se observó un mayor número de ejemplares inmaduros.

En conjunto, estos estudios enfatizan la variabilidad del ciclo reproductivo de las especies del género *Callinectes*, influenciada por factores ambientales como la temperatura del agua, y resaltan la necesidad de enfoques de manejo adaptativos que consideren las particularidades de cada región y año.

## **2.6. Etapas de desarrollo**

El estudio de las características reproductivas de las hembras de diversas especies de decápodos ha sido un área de investigación clave para comprender sus ciclos reproductivos, la morfología ovárica y el proceso de ovogénesis. A través de observaciones tanto macroscópicas como microscópicas, se ha avanzado en la descripción del estado de los ovarios durante la madurez sexual y en el análisis de los ciclos reproductivos anuales.

Brown (2009) realizó un estudio exhaustivo sobre la morfología, oogénesis y cambios ováricos a lo largo del ciclo reproductivo anual de *Callinectes sapidus* en la Bahía de Tampa, Florida, E.E.U.U. A través de mediciones detalladas de los diámetros promedio de oogonias y ovocitos en diferentes etapas de desarrollo, se identificaron diferencias significativas en las medias, con valores que variaban desde 32.56  $\mu\text{m}$  en el crecimiento primario temprano hasta 147.8  $\mu\text{m}$  en la fase tardía de vitelogénesis. Estos hallazgos destacan la naturaleza continua y dinámica de la ovogénesis, donde los ovocitos pasan por diversas etapas de desarrollo de manera relativamente rápida. Dentro de un lóbulo ovárico, es común observar una superposición de ovocitos en diferentes etapas, lo que refleja la fluidez del proceso y la presencia constante de oogonias, aunque estas no siempre sean evidentes.

Castañeda-Fernández *et al.* (2015) evaluaron la precisión de los métodos morfocromáticos e histológicos en la determinación de los estadios de madurez gonádica, encontrando una elevada concordancia general ( $r^2 = 0.8754$ ) entre ambos métodos, aunque con diferencias significativas en la frecuencia relativa de los estadios determinados. La menor coincidencia se observó en el estadio de gametogénesis inicial (62.6%), mientras que la mayor coincidencia se presentó en la fase de inactividad (94%).

La coloración de los ovarios durante su desarrollo es un indicador visual importante del estado de madurez de las gónadas. Carvalho-Saucedo *et al.* (2015) señalaron que esta variación cromática está estrechamente relacionada con la acumulación de sustancias nutritivas en los ovocitos, tales como gránulos vitelinos y gotas de lípidos, que al alcanzar la

madurez confieren una coloración anaranjada a los gametos femeninos debido a la presencia de carotenos en el citoplasma.

Diarte-Plata (2016) desarrolló una escala de desarrollo gonadal para el género *Callinectes*, basada en la coloración de los órganos reproductivos observados macroscópicamente. Esta escala incluyó cinco estadios, desde el inmaduro (blanco/transparente) hasta el posdesove (amarillo claro o amarillo-naranja). Además, su caracterización histológica reveló diferencias significativas en los diámetros de los ovocitos entre estos estadios, excepto entre los estadios de desove y posdesove, donde no se encontraron diferencias significativas ( $p = 0.123862$ ).

El crecimiento de los ovocitos está marcado por la incorporación rápida de vitelo proteico y gotas de lípidos, lo que señala el final de la previtelogénesis y el inicio de la vitelogénesis temprana (Moreno *et al.*, 2012). Este proceso es crucial para la fecundidad de la hembra, ya que la cantidad de huevos que un individuo puede producir está directamente relacionada con el tamaño de sus gónadas. Además, la dieta tiene una función fundamental en este aspecto; según Navarro-García (2021), los individuos que consumen una dieta rica en tejido animal pueden producir hasta tres veces más huevos que aquellos cuya dieta se basa principalmente en vegetales.

## **2.7. Parasitismo**

La especie *Octolasmis californiana* ha sido identificada como un ectoparásito común en portúnidos, especialmente en el género *Callinectes*, infestando principalmente las cámaras branquiales o apéndices de diversos crustáceos decápodos (Newman y Abbott, 1980). Este percebe fue descrito inicialmente como un parásito de la langosta *Panulirus interruptus* en las costas del sur de California, E.E.U.U., con una distribución que se extiende desde el norte de California hasta el Golfo de California, cerca de Mazatlán, Sinaloa. Con el trabajo de Celis-Villalba (2009), se amplió el registro de distribución de *O. californiana* hasta las costas de Nayarit, incrementando también el número de especies hospederas identificadas.

Santos *et al.* (2002) informaron sobre la infestación por *Octolasmis lowei* en *C. danae* y *C. ornatus* en San Sebastián, Brasil. La prevalencia de infestación fue mayor en *C. danae* (22%) que en *C. ornatus* (12%), con *O. lowei* adherido principalmente a las branquias, aunque también se encontraron especímenes en las paredes internas de las cámaras branquiales.

En Bahía Matanchén, Nayarit, Celis-Villalba (2009) reportó que *O. californiana* parasita a tres especies de cangrejos: *C. arcuatus*, *C. toxotes* y *Arenaeus mexicanus*. De los 50 cangrejos *C. arcuatus* examinados, el 78% estaban infestados con *O. californiana*, siendo los machos los más afectados (59%). El tamaño de los cangrejos infestados osciló entre 65 y 120 mm de AC, con una media de  $82 \pm 1.37$  mm. La infestación en *C. toxotes* y *A. mexicanus* fue menos prevalente, afectando al 20% y 7.8% de los cangrejos, respectivamente.

En un estudio de 12 meses sobre *Scylla olivacea* en Tailandia, Lerssutthichawal *et al.* (2013) encontraron que el 97% de los cangrejos estaban infestados con percebes del género *Octolasmis*. Se observó una mayor intensidad de infestación en hembras que en machos, sugiriendo una preferencia de *Octolasmis* por hospedadores femeninos. Esta diferencia podría deberse a varios factores, como una tasa de crecimiento más lenta en las hembras, un intervalo de muda más largo y una mayor exposición a ambientes de alta salinidad, lo que facilita la adquisición de los parásitos.

En un estudio realizado en China, Xiang *et al.* (2015) analizaron la colonización de *Octolasmis* en *Portunus sanguinolentus*, encontrando una prevalencia del 100% de *Octolasmis bullata* en las cámaras branquiales de los cangrejos examinados. Sin embargo, *Octolasmis warwickii* mostró una prevalencia menor, colonizando solo al 32% de los cangrejos.

Por otro lado, en un estudio realizado en la bahía de Polimar, Isla de Margarita, Venezuela, Robert *et al.* (2016) documentaron la prevalencia de parasitismo en *Callinectes ornatus*, donde el 76% de los hospederos evaluados estaban infestados con 3,969 platelmintos, con una prevalencia del 81% en machos y 63% en hembras. Los parásitos se encontraron en el corazón, musculatura adyacente y gónadas de los cangrejos, abarcando todas las clases de tallas.

Finalmente, en un estudio en la laguna El Colorado, Ahome, Sinaloa, Verduzco-Chávez (2021) examinó 503 cangrejos del género *Callinectes*, encontrando que 255 de ellos estaban infestados con *O. californiana* en las branquias, lo que representa una prevalencia significativa, también este estudio fue el único que comprobó que la presencia del parásito afecta el crecimiento de la jaiba.

## **2.8. Macronutrientes esenciales**

### **2.8.1. Proteínas**

En la maduración y reproducción de decápodos, las proteínas presentan una función importante, debido a que pueden ser oxidadas para la obtención de energía o para formar parte de las proteínas de tejidos embrionales; proveen de aminoácidos esenciales y no esenciales, así como nitrógeno para la síntesis de coenzimas y de material genético (ácidos nucleicos y nucleótidos). El papel crítico de las proteínas en la maduración se observa en los cambios registrados en la composición del hepatopáncreas y ovarios durante la vitelogénesis (Rodríguez-González, 2006).

### **2.8.2. Lípidos**

Los lípidos representan una fuente energética altamente eficiente y desempeñan una función muy importante en el metabolismo de los crustáceos. Su preferencia como sustrato energético los consolida como el principal material de reserva energética en estos organismos. Además de su función energética, los lípidos se requieren en la formación de estructuras celulares vitales, como las membranas celulares, y en el desarrollo de moléculas específicas, incluyendo hormonas. El almacenamiento de lípidos es decisivo en la biología reproductiva de los crustáceos, debido a que a lo largo de su ciclo de maduración el ovario incrementa los niveles de lípidos, mientras que en los lugares de almacenamiento como el hepatopáncreas tienden a disminuir, lo cual sugiere una transferencia de lípidos de este órgano hacia la gónada (Rodríguez-González, 2006).

### **2.8.3. Carbohidratos**

Los carbohidratos pueden cubrir las demandas energéticas de los crustáceos; un aumento de los carbohidratos estimula el tiempo de retención del alimento en el tracto digestivo y el crecimiento de la flora intestinal. Desde el punto de vista de la maduración de reproductores, estudios realizados en camarones peneidos, mostraron que las reservas de carbohidratos en el hepatopáncreas disminuyen posiblemente debido al requerimiento energético en esta fase reproductiva (Rodríguez-González, 2006).

## **2.9. Ciclo de almacenamiento de energía**

El metabolismo de las jaibas implica una serie de procesos bioquímicos que transforman las proteínas, lípidos y carbohidratos en energía y componentes estructurales necesarios para la

supervivencia y reproducción. En las jaibas, las gónadas (órganos reproductivos) desempeñan un papel crucial en la producción de gametos (óvulos) y el metabolismo de estos macronutrientes es vital para la maduración y el desarrollo gonadal (Rosa y Nunes, 2003).

La demanda de macronutrientes en las jaibas es dinámica y está influenciada por varios factores, como el ciclo reproductivo, el crecimiento, las condiciones ambientales y la disponibilidad de alimentos. Durante la preparación y la actividad reproductiva, la necesidad de proteínas y lípidos aumenta significativamente. Por otro lado, durante los periodos de mantenimiento y crecimiento pos-embrionario, la demanda puede equilibrarse con una mayor necesidad de carbohidratos para obtener energía inmediata (Jayasankar *et al.* 2020). El género *Callinectes* exhibe un ciclo bien adaptado de almacenamiento y movilización de nutrientes que se ajusta a su entorno variable. Durante periodos de abundancia alimentaria, almacenan glucógeno y lípidos en el hepatopáncreas y otros tejidos, mientras que, en tiempos de escasez, movilizan estas reservas para mantener sus funciones metabólicas. Este ciclo está regulado por factores ambientales, como la temperatura, y las necesidades fisiológicas específicas en su ciclo de vida (Reddy-Ramachandra, 2019). La concentración de lípidos, proteínas y carbohidratos fluctúa en función de diversos factores, incluida la disponibilidad de alimento, el ciclo de vida y las necesidades energéticas específicas. Cuando aumenta la concentración de uno de los macronutrientes, los otros tienden a disminuir debido a prioridades metabólicas, como la movilización de un tipo de reserva energética que sea más eficiente o necesaria en ese momento, o la compensación energética para mantener el equilibrio energético y satisfacer las necesidades inmediatas de la jaiba. El metabolismo se ajusta para utilizar las reservas disponibles, protegiendo las más cruciales para la supervivencia a largo plazo. Este sistema de almacenamiento y movilización de nutrientes permite a las jaibas adaptarse eficazmente a su entorno cambiante y mantener su equilibrio energético (Wei *et al.*, 2018).

El ambiente y la alimentación de las jaibas están relacionados con su ciclo de almacenamiento de energía, las variaciones en la disponibilidad de alimentos, las condiciones ambientales y las necesidades reproductivas influyen directamente en la forma en la que se gestionan las reservas, el balance y la regulación de los macronutrientes están relacionados

con el ciclo reproductivo, las etapas de desarrollo gonadal y las condiciones ambientales, asegurando la supervivencia y el éxito reproductivo en su entorno dinámico (Hartnoll, 2017).

Las proteínas tienen un aumento en su concentración durante la etapa de desarrollo gonadal, específicamente durante la vitelogenesis en las hembras y también antes del desove, cuando se acumulan para asegurar que haya suficiente vitelogenina y otros componentes proteicos en los huevos. La disminución de este macronutriente sucede después del desove, cuando las reservas de proteínas pueden disminuir debido al alto gasto energético y la utilización de estas en la producción de gametos (Ren *et al.*, 2023).

Según Wen-Feng-Li *et al.* (2021), los niveles de carbohidratos aumentan antes del desove y la muda que son actividades que requieren alta energía inmediata. También tiende a disminuir en periodos de escasez de alimentos, ya que la reserva de glicógeno se utiliza y tiende a disminuir si no hay suficiente ingesta de carbohidratos.

El aumento de lípidos se presenta antes del periodo de reproducción, cuando las jaibas almacenan energía para la producción de huevos, así como en periodos de alta disponibilidad de alimentos ricos en grasas. La disminución de este macronutriente sucede durante el desove, ya que se utilizan intensamente para proporcionar energía y material estructural para los huevos, también pueden disminuir significativamente las reservas después de que suceda el desove (post-desove) debido a la movilización de lípidos para la reproducción (Li *et al.*, 2021).

En cuanto a la interacción entre macronutrientes, existe un balance y regulación; se presenta una competencia por recursos cuando un tipo de macronutriente aumenta significativamente, puede reducir la necesidad de los otros, debido a la competencia por recursos metabólicos. Por ejemplo; durante periodos de alta acumulación de lípidos, la necesidad de energía inmediata puede disminuir, reduciendo la movilización de glicógeno. También durante la síntesis intensa de proteínas para vitelogenina, puede haber una mayor demanda de aminoácidos, reduciendo la necesidad inmediata de carbohidratos (Li *et al.*, 2021).

En cuanto a la eficiencia energética, los lípidos son más eficientes en términos de almacenamiento de energía, en comparación con carbohidratos. Por ello, las jaibas priorizan el almacenamiento de lípidos durante la preparación para la reproducción (Ren *et al.*, 2023).

Para la movilización adaptativa; en condiciones de escasez de alimentos, las jaibas pueden catabolizar proteínas y lípidos para obtener energía, lo que permite una mayor flexibilidad metabólica.

Existe una influencia del medio ambiente y la alimentación sobre el ciclo de almacenamiento energético; en la disponibilidad de alimentos están involucrados la estacionalidad que se refiere a la disponibilidad de alimentos que afecta la acumulación de macronutrientes (durante periodos de abundancia se almacenan más lípidos y proteínas) (Li *et al.*, 2021). Otro factor es el tipo de dieta, en este caso las dietas ricas en lípidos aumentan las reservas lipídicas, mientras que las dietas ricas en proteínas favorecen la síntesis de vitelogenina y otras proteínas necesarias para la reproducción. En las condiciones ambientales se involucran, la temperatura que afecta la tasa metabólica y por tanto el consumo y almacenamiento de macronutrientes (en temperaturas altas el metabolismo aumenta, al igual que la demanda energética) y la salinidad, cuyas fluctuaciones pueden requerir ajustes osmóticos, lo que influye en el uso y almacenamiento de energía (Wei *et al.*, 2018).

### **2.9.1. Flujo de energía y productividad de la laguna**

La productividad primaria es la tasa que añade energía a los cuerpos de un grupo de organismos en forma de biomasa; esto inicia con los productores primarios, como las plantas y otros fotosintetizadores que son con los que la energía ingresa en las redes tróficas. Se consideran dos valores de productividad: la productividad bruta, que es la tasa total de captación de energía y la productividad neta, que es menor y se ajusta a la energía utilizada por los organismos en la respiración y el metabolismo. La energía ingresa al ecosistema cuando los productores realizan la fotosíntesis, capturando energía solar y almacenándola como energía química potencial. A medida que los consumidores se alimentan de los productores, la energía fluye a través de los niveles tróficos. Para el caso de las jaibas y su metabolismo, estos organismos como consumidores obtienen energía al alimentarse de otros organismos, su metabolismo implica procesos como la respiración y la transformación de nutrientes para obtener energía, la cual les permite crecer, reproducirse y mantener funciones vitales (Falkowski & Raven, 2013).

Para todos los organismos acuáticos, la temperatura es el factor más importante pero sus variaciones a nivel espacio-temporal, no son del todo bien interpretadas ecológicamente.

Junto con la salinidad, determina la solubilidad del oxígeno en el agua, influye en la tasa de producción primaria, en las reacciones metabólicas, reproducción y crecimiento de las especies. La temperatura del agua está relacionada con el aire, lo cual puede ser útil para estimar con anticipación el riesgo de estratificación en la laguna, dado que la temperatura del agua en un día cualquiera esta correlacionada con las medias de la temperatura atmosférica de los cuatro días precedentes. El incremento de la temperatura aumenta el metabolismo y, en consecuencia, los requerimientos energéticos, que se satisfacen mediante el consumo de materia orgánica particulada del medio natural, en la que influye el fitoplancton (importante en la tasa de producción primaria), también influye en reproducción y la supervivencia de los estadios larvarios, especialmente para ciertos organismos (SEMARNAT, 2019).

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Aunque las jaibas presentan una gran importancia como recurso pesquero, los estudios que se han publicado sobre su potencial pesquero, ecología y biología en ambientes de la costa de México son escasos. En caso de que el parasitismo ocasionado por el epibionte *O. californiana* en las jaibas del género *Callinectes* esté generando problemas en su crecimiento, reproducción y el rendimiento de la pesquería; el conocimiento de los efectos negativos del parasitismo va a ser de gran ayuda para regular y entender la importancia sobre la jaiba azul *C. arcuatus* en la pesquería del norte de Sinaloa, que en los últimos años adquirió mayor demanda. La jaiba es, para los pescadores, uno de los principales recursos económicos, ya que tiene una alta importancia ecológica en los sistemas lagunares.

### **4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿El parásito cirrípedo *Octolasmis californiana* tiene un efecto en el ciclo reproductivo de la hembra de la jaiba azul *Callinectes arcuatus* en la laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa, considerando los cambios en la abundancia, el diámetro de los ovocitos, los perfiles bioquímicos de las gónadas y la interacción con las condiciones ambientales?

## 5. JUSTIFICACIÓN

Los crustáceos de la familia Portunidae son objeto de alta demanda en el mercado de exportación y desempeñan una función importante en la cadena alimentaria marina, siendo presa de algunas especies y depredadores de otras. No obstante, hay una falta notable de estudios, especialmente en el Pacífico mexicano. Por lo tanto, es imperativo investigar aspectos biológicos sobre cada etapa de la vida de los crustáceos *Callinectes*, para comprender las variaciones estacionales, los sitios de reproducción, el asentamiento, la alimentación y otros aspectos biológicos, así como el impacto del parasitismo. Esta información es crucial para desarrollar modelos predictivos y garantizar una gestión pesquera efectiva.

Las jaibas están adquiriendo cada vez más valor socioeconómico y desempeñan un papel ecológico clave en las comunidades costeras. Los estudios sobre parásitos y simbiosis pueden proporcionar información valiosa sobre sus interacciones ecológicas. Por lo tanto, al evaluar el efecto del parasitismo en los ciclos reproductivos, se pueden comprender mejor los efectos de especies como *Octolasmis californiana* en las poblaciones de jaibas, lo que contribuirá a mejorar su manejo y garantizar su explotación sostenible.

## **6. HIPOTESIS**

El parásito *Octolasmis californiana* afecta negativamente el ciclo reproductivo de las hembras de la jaiba azul *Callinectes arcuatus* en la laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa, alterando la abundancia y el diámetro de los ovocitos, así como los perfiles bioquímicos de los tejidos reproductivos, con una influencia adicional de las condiciones ambientales en la intensidad de estos efectos.

## 7. OBJETIVOS

### 7.1. Objetivo General

Evaluar el efecto del parásito *Octolasmis californiana* en el ciclo reproductivo de hembras de la jaiba azul *Callinectes arcuatus* en la laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa.

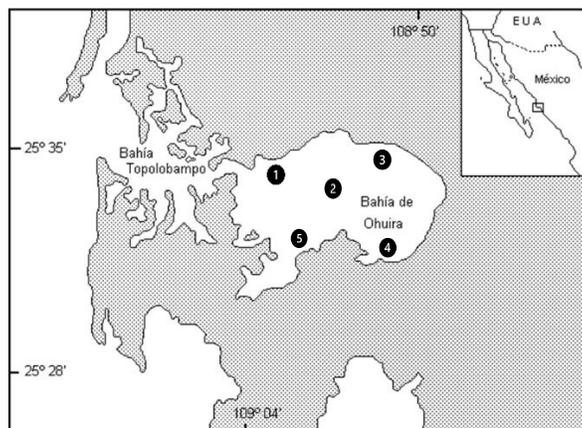
#### 7.1.1. Objetivos específicos

1. Determinar la abundancia mensual de *O. californiana* en especímenes de jaiba *C. arcuatus* de la Laguna Ohuira.
2. Estimar la prevalencia y la intensidad de infestación de *O. californiana* en las hembras de la jaiba *C. arcuatus*.
3. Evaluar las relaciones entre las tallas, las proporciones morfométricas y el estado reproductivo de hembras de *Callinectes arcuatus* parasitadas y no parasitadas por *O. californiana* en la Laguna Ohuira.
4. Determinar las variaciones macroscópicas en el color de las gónadas de hembras de *Callinectes arcuatus* en diferentes etapas reproductivas.
5. Analizar el efecto del parásito *O. californiana* en el diámetro de los ovocitos por estadio de desarrollo gonadal de las hembras de la jaiba *C. arcuatus*.
6. Evaluar el efecto de *O. californiana* en el ciclo reproductivo de la jaiba *C. arcuatus* de la laguna Ohuira.
7. Evaluar el efecto de las variables ambientales en el ciclo reproductivo de hembras infestadas y no infestadas de la jaiba *C. arcuatus*.
8. Analizar los perfiles bioquímicos de la gónada en hembras de jaibas parasitadas y no parasitadas asociados al ciclo reproductivo de *C. arcuatus*.

## 8. MATERIALES Y MÉTODOS

### 8.1. Sitio de estudio

El área de estudio se sitúa en la costa noroeste de Sinaloa, México en el complejo lagunar Ohuira-Topolobampo-Santa María, entre los 25°32' y 25°36' N y 109°03' y 109°08' O, en el municipio de Ahome. Se clasifica como del tipo I-C y II-A o de erosión diferencial/valle inundado con barrera y sedimentación terrígena diferencial/depresión intradeltaica y marginal, respectivamente (Lankford, 1977). La superficie que este complejo cubre es de 6,000 ha para la bahía de Topolobampo y 9,000 para la bahía de Ohuira. Su comunicación con el mar es a través de una boca de 3 km localizada entre la isla Santa María y Punta Copas (INE-SEMARNAT, 2000). (Fig. 7).



**Figura 7.** Sitios de muestreo en la laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa, México (Tomado de Diarte-Plata, 2016).

### 8.1. Diseño de muestreo

Las jaibas fueron capturadas mensualmente de noviembre de 2022 a octubre de 2023. En cada sitio se realizó un muestreo aleatorio estratificado (de tipo grilla). Se tomaron como referencia cinco sitios (S 1, 2, 3, 4, 5), con un geoposicionador (Garmin45®), considerando el comportamiento biológico reportado para las especies del género *Callinectes* (Palacios-Fest, 2002).

Para el diseño de muestreo, se contempló el calado de tres líneas de trampas por sitio (40 aros jaiberos con un Ø de 50 cm, por línea), correspondientes a aparejos empleados habitualmente por los pescadores en sus operaciones de pesca, con una longitud de 400 m y una separación

de 300 m entre líneas. En el caso de los aros, la distancia entre ellos fue de 10 m (Fig. 8), con un horario de las 06:00 a las 17:00 h. La carnada (lisa, *Mugil* sp.) y tiempo de reposo (15 min) fueron los utilizados comúnmente por los pescadores, siendo un total de 120 lances por sitio, con 600 lances para la totalidad de la prospección mensual. Las jaibas capturadas se colocaron (considerando cada línea de lance) en costales de plástico y se conservaron en hielo, hasta su traslado al laboratorio (Diarte-Plata, 2016).

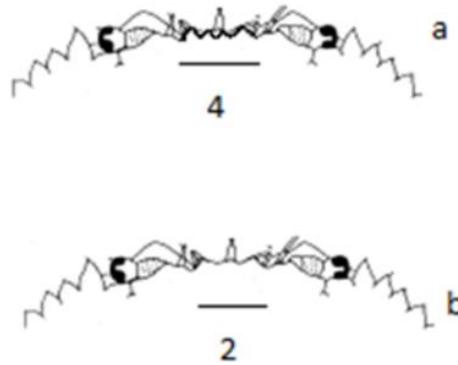


**Figura 8.** Diseño de muestreo por sitio con trampas tipo aros jaiberos en la laguna El Colorado, Ahome, Sinaloa. (Tomado de Diarte-Plata, 2016).

## 8.2. Identificación de las jaibas del género *Callinectes*

A nivel morfológico, se puede diferenciar a los especímenes de *C. arcuatus* y *C. bellicosus* mediante la observación de la forma del rostrum; ya que en *C. arcuatus* es relativamente largo y curvado hacia arriba, tiene una forma característica de “V” invertida, con una muesca (hendidura o indentación en un área específica) prominente en la parte frontal y dientes en los lados. Por otra parte, el rostrum de *C. bellicosus* es más corto y recto, aunque también presenta una muesca en la parte frontal, los dientes laterales son menos prominentes (Verduzco-Chávez, 2021).

Se identificaron las jaibas capturadas mediante las claves taxonómicas correspondientes, de acuerdo con Hendrickx (1995a), Escamilla-Montes (1998) y Palacios-Fest (2002), donde se establecen como características diacríticas la presencia y forma de los dientes centrales de la frente del rostrum y la definición de la abertura de la fisura supra orbital (Fig. 9). Las clases de edad se determinaron utilizando la metodología de Hernández y Arreola-Lizárraga (2007), dividiendo a la población en juveniles (hembras-machos) y adultos (hembras-machos), mediante la medida del ancho del caparazón (AC) (Diarte-Plata, 2016).



**Figura 9.** Margen anterior del caparazón con número de dientes frontales de a) *C. arcuatus* y b) *C. bellicosus*. (Diarte-Plata, 2016).

### 8.3. Obtención de *O. californiana* (huésped)

Se realizó una revisión minuciosa de cada espécimen (jaiba), para la descripción externa e identificación. Una vez en el laboratorio, se procedió a abrir las jaibas, quitando el caparazón para poder observar las branquias. Posteriormente, se observaron con una lupa cada una de las cámaras branquiales y con pinzas y agujas de disección se separaron y revisaron para ver si estaban infestadas o no infestadas. En el caso de las jaibas infestadas, se realizó una revisión más detallada para disectar cada uno de los parásitos encontrados y, una vez separados los organismos de las branquias, estos se conservaron en frascos con alcohol etílico al 70% (Verduzco-Chávez, 2021).

### 8.4. Abundancia mensual

#### 8.4.1. Hospedero (jaiba *C. arcuatus*)

Para evaluar la abundancia de las jaibas, se registró el número de organismos capturados por sitio de muestreo y por estadio de madurez (maduro e inmaduro), así como de organismos parasitados y no parasitados (Aedo y Arancibia, 2003).

#### 8.4.2. Huésped (cirrípedo *O. californiana*)

De cada jaiba infestada, se registró el número de especímenes de *O. californiana* en las branquias, por sitio de muestreo y por estadio de madurez (maduro e inmaduro) (Verduzco-Chávez, 2021).

## 8.5. Prevalencia e intensidad de infestación

Para determinar la prevalencia (%) de los cirrípedos en hembras de la jaiba azul *C. arcuatus* en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa, se utilizó la siguiente ecuación (Verduzco-Chávez, 2021):

$$\% \text{ Prevalencia} = \frac{\text{Número total de parásitos}}{\text{Número total de hospederos infestados}}$$

Para conocer la intensidad de infestación en hembras de la jaiba azul *C. arcuatus* en la laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa, se utilizó la siguiente ecuación (Afifi-Khattab, 2018).

$$\% \text{ Infestación} = \frac{\text{Número total de parásitos}}{\text{Número total de hospederos infestados}}$$

### 8.5.1 Grado de infestación

Para determinar el grado de infestación, se utilizó una escala de 0 a 4, mediante una inspección visual de las áreas afectadas (branquias) se cuantificaron los parásitos presentes en las jaibas y se tomó como referencia el organismo que contara con presencia de más balanos.

La escala se estableció con base en la cantidad de parásitos encontrados:

0 = sin parásitos detectados

1 = Baja infestación

2 = Media infestación

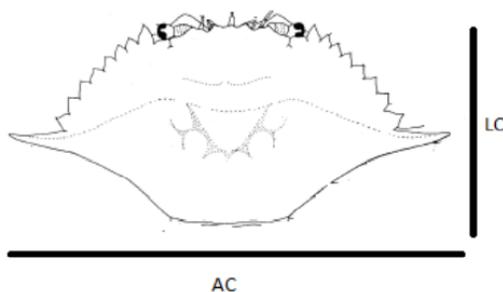
3 = Media-alta infestación

4 = Alta infestación

### 8.6. Estructura de tallas

Tomando en cuenta como medida principal al ancho de caparazón (AC), se realizaron los diagramas de frecuencia de talla de la especie, y clase de edad mensual. (Escamilla-Montes, 1998).

De cada organismo, se midió el AC y el largo del caparazón (LC), con un vernier (0.05 mm de precisión; Vernier Calibrador Digital, Mitutoyo® 500 -197; Fig. 10), y se registró el peso total (PT), mediante una balanza digital (Ohaus Scout Pro SP 200).



**Figura 10.** Medidas de un espécimen de *Callinectes* sp.: AC = ancho de caparazón y LC = largo de caparazón, considerando las espinas laterales (Tomado de Diarte-Plata, 2016).

### 8.7 Relaciones Morfométricas.

Para determinar la relación entre el AC y LC, los datos se ajustaron a un modelo de tipo lineal con la siguiente ecuación:

$$AC = a + b LC$$

Donde:

AC= Ancho del caparazón (cm)

LC = Largo del caparazón (cm)

a = ordenada al origen

b= Pendiente

Con respecto al ancho de caparazón (AC) y el peso total (PT), los valores se ajustaron a un modelo de tipo potencial a través de la ecuación (Pauly, 1983):

$$W = a AC^b$$

Donde:

W= Peso del organismo

AC= Ancho del caparazón

a= Factor de condición

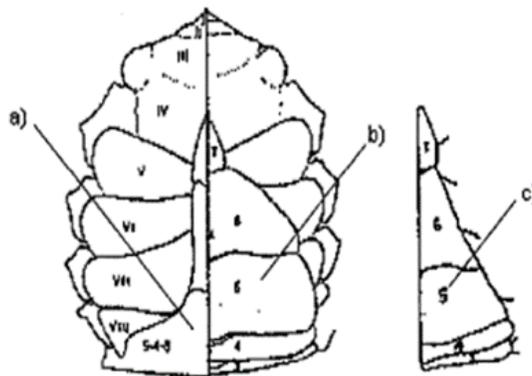
b= Factor alométrico

La ecuación  $W=aAC^b$ , expresó la relación entre ancho del caparazón y el peso. Tanto a como b tienen un significado biológico. El factor a es el factor de condición o grado de robustez individual y b es un factor alométrico, es decir, el coeficiente de crecimiento relativo en concordancia con el ancho (Safran, 1992).

## 8.8. Reproducción

### 8.8.1. Grado de madurez externa

De acuerdo con las descripciones macroscópicas de Hendrickx (1995a), se diferenciaron hembras maduras e inmaduras, mediante la observación del abdomen de los organismos. Las hembras inmaduras se caracterizaron por su abdomen en forma triangular y sellada al cuerpo, mientras que, en las maduras se observa su abdomen ancho, redondeado, semicircular y libre (Fig. 11).



**Figura 11.** Vista ventral del cefalotórax y abdomen de *Callinectes*: a) Macho, b) Hembra madura y c) Hembra inmadura (Tomada de Diarte-Plata, 2016).

### 8.8.2. Proceso histológico del ciclo reproductivo

Mensualmente, se tomaron 30 gónadas al azar de especímenes de *C. arcuatus*, mismas que fueron procesadas, de acuerdo con la técnica de Hematoxilina-Eosina (Johnson y Otto, 1981). A la porción incluida de la gónada se le realizó un corte de 5  $\mu$ m de espesor con un micrótomo de rotación (Humason, 1979). Los cortes se tiñeron con la técnica de Hematoxilina-Eosina.

Para la captura de imágenes y determinación del estadio de desarrollo gonádico, se utilizó una cámara digital Nikon® 5MDLS acoplada a un microscopio óptico Nikon® Opti-phot de campo claro. El estadio de desarrollo gonádico se determinó, considerando la escala propuesta por Keunecke *et al.* (2009): Etapa I-Inmaduro, Etapa II-Desarrollo, Etapa III-Maduro, Etapa IV-Desove (Castañeda-Fernández de Lara *et al.*, 2016 y Diarte-Plata, 2016). Posteriormente, con los cortes histológicos de las gónadas se realizaron las mediciones de los ejes mayor y menor de los ovocitos.

### 8.8.3. Talla de primera madurez

La estimación de la talla de primera madurez (talla a la cual el 50% de las hembras capturadas se encuentran en la etapa de madurez) se realizó obteniendo el porcentaje de individuos maduros por clase de tallas (1 cm), la curva se ajustó mediante un modelo logístico para estimar los parámetros y la AC50% (Salgado Ugarte *et al.*, 2005), utilizando el programa Curve Expert 1.4.

$$P(1) = \frac{1}{1 + \exp(a + b * ACT)}$$

Donde:

P (1): es la proporción de hembras maduras

*a* y *b*: parámetros estimados del modelo logístico

ACT: Ancho del cefalotórax total.

Para el cálculo de la talla en el 50 % de madurez fue ACT50% = (-a/b) (King, 2007).

### 8.9. Análisis bioquímico de tejido

Para analizar la condición bioquímica de tejido blanco (gónada) relacionado con el efecto del parasitismo en el ciclo reproductivo de hembras de jaiba azul *C. arctuatus*, se tomaron 30 especímenes por mes, durante el periodo de noviembre de 2022 a octubre de 2023.

Se realizó una disección a los organismos para extraer las gónadas, las cuales fueron colocadas en bolsas individuales y se mantuvieron en ultracongelación (-70° C) para ser procesadas posteriormente.

Los análisis bioquímicos realizados a cada muestra fueron: concentración de proteínas, carbohidratos y lípidos, con las siguientes técnicas:

### **8.9.1. Preparación de la muestra**

Se pesaron aproximadamente 0.5 g de muestra de gónada y se homogenizaron, se les agregó 5 ml de una solución isotónica (solución salina= 3.5% de NaCl) fría y se mantuvieron en hielo para conservar su integridad (Vargas-Téllez, 2023).

### **8.9.2. Contenido de proteínas**

Para determinar las proteínas de cada muestra, se utilizó el método Bradford (1976). Se tomó una alícuota de 10 µl del homogenizado de tejido y se colocó en 100 µl de NaOH 0.1 N para su digestión durante 120 minutos. Posteriormente, se tomó 10 µl del digerido, se colocó en un tubo de vidrio, se le agregó 1 ml de reactivo de Bradford y se leyó en un espectrofotómetro a 595 nm.

Para realizar la curva tipo, se empleó una solución estándar con una concentración de 5 mg/ml de albumina bovina, la cual se diluyó en proporción 1:2 en solución salina hasta que se obtuvieron concentraciones de 2.5, 1.25, 0.625, 0.3125, 0.15625 y 0.078125 mg/ml de proteína y solución salina como blanco (Vargas-Téllez, 2023).

La concentración de proteína se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{conc. de proteínas} \left( \frac{\text{mg}}{\text{ml}} \right) = \frac{\text{Abs. Sol. Prob} \times \text{F. D.}}{m \times \text{peso de la muestra}}$$

Donde:

F.D.= factor de dilución

m= pendiente en la curva tipo

### **8.9.3. Contenido de carbohidratos**

Para la medición de carbohidratos, se tomaron 0.2 ml de homogenizado de cada muestra y se mezclaron con 0.2 ml de ácido trifluoroacético (TAC) al 20% en microtubos de 0.65 ml, esto con la finalidad de precipitar proteínas que interfieran con la medición de carbohidratos. Los microtubos fueron centrifugados a 3600 rpm (1376 g) por 10 minutos a 4 °C en un centrifuga refrigerada. Se recogió el sobrenadante en tubos limpios.

La concentración total de carbohidratos se determinó utilizando un método basado en Roe et al. (1954) y Escamilla- Montes (2012). Se colocó 0.1 ml de sobrenadante en un tubo de vidrio, se le agregó 1 ml de solución de antrona 0.1 % diluida en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 72%. Se calentó a baño maría a 90 °C durante 5 minutos y se enfrió en baño de hielo. Se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro a 620 nm.

Para hacer la curva tipo, se utilizó una solución estándar de carbohidratos con 5mg/ml, se prepararon diluciones en proporción 1:2 en 500 µl de TCA, quedando concentraciones de 5, 2.5, 1.25, 0.625, 0.3125, 0.15625, 0.078125 mg /ml de carbohidratos.

La concentración de carbohidratos se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{conc. de carbohidratos} \left( \frac{\text{mg}}{\text{ml}} \right) = \frac{\text{Abs. Sol. Prob} \times \text{F. D.}}{m \times \text{peso de la muestra}}$$

Donde:

F.D.= factor de dilución

m= pendiente en la curva tipo

#### **8.9.4. Contenido de lípidos**

Para el análisis de lípidos en los diferentes tejidos, se utilizó el método de sulfafosfovainilla, según Barnes y Balckstock (1973). Para lo cual, se tomó una alícuota de 0.025 ml (25 µl) de cada muestra y se colocó en tubos de vidrio, se les agregó 0.25 ml de ácido sulfúrico concentrado y se incubaron a baño maría a 90 °C, por 10 minutos. Los tubos se enfriaron en baño de hielo, posteriormente se tomaron 20 µl de cada tubo y se colocaron en el fondo del pozo de una microplaca (placa Elisa) de 96 pozos, se le agregó solución reactiva para lípidos (fosfovainilla al 0.2 % en ácido sulfúrico al 80%). La placa se dejó incubar por 40 minutos a temperatura ambiente y se tomó la lectura de la absorbancia de la placa en un lector de placas de BioRad a 540 nm.

Para la curva tipo, se utilizó una solución estándar de lípidos (Lin- Trol sigma L2648). Se prepararon diluciones en proporción, en 1 ml de solución salina, obteniendo concentraciones de 10.5, 2.5, 1.25, 0.625, 0.3125 y 0.15625 mg/ml de lípidos. Se utilizó solución salina como blanco.

La concentración de lípidos se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{conc. de lipidos} \left( \frac{\text{mg}}{\text{ml}} \right) = \frac{\text{Abs. Sol. Prob} \times \text{F. D.}}{m \times \text{peso de la muestra}}$$

Donde:

F.D.= Factor de dilución

m= pendiente en la curva tipo

### **8.10. Análisis estadístico**

Se utilizó una serie de análisis estadísticos para evaluar las diferencias y relaciones en los datos recopilados. Para analizar la abundancia y morfometría de los organismos entre diferentes meses, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis, un método no paramétrico adecuado cuando los datos no siguen una distribución normal. Este análisis se realizó con un nivel de significancia de 0.05 (Zar, 2010).

En el análisis de la primera talla de madurez externa y la primera talla de madurez sexual, se utilizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA), también con un nivel de significancia de 0.05. El ANOVA es útil para determinar si existen diferencias significativas entre grupos. Si se detectaron diferencias, se aplicó la prueba post hoc de Tukey HSD, que compara múltiples grupos para identificar cuáles presentan diferencias significativas (Zar, 2010).

Para evaluar la relación entre la abundancia y la morfometría de los ovocitos con variables ambientales, se realizó un análisis de correlación de Pearson, que mide la fuerza y dirección de la relación lineal entre dos variables (Zar, 2010).

En cuanto a la concentración de lípidos, proteínas y carbohidratos, se emplearon las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Bartlett para verificar si los datos seguían una distribución normal y si eran homocedásticos, lo cual es crucial para determinar la aplicación de pruebas paramétricas o no paramétricas. Al no cumplirse las suposiciones de normalidad u homogeneidad de varianza, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias en los niveles de estos macronutrientes entre grupos, utilizando el software Statistica 7 para todos los análisis.

## 9. RESULTADOS

### 9.1. Variables ambientales de la Laguna Ohuira

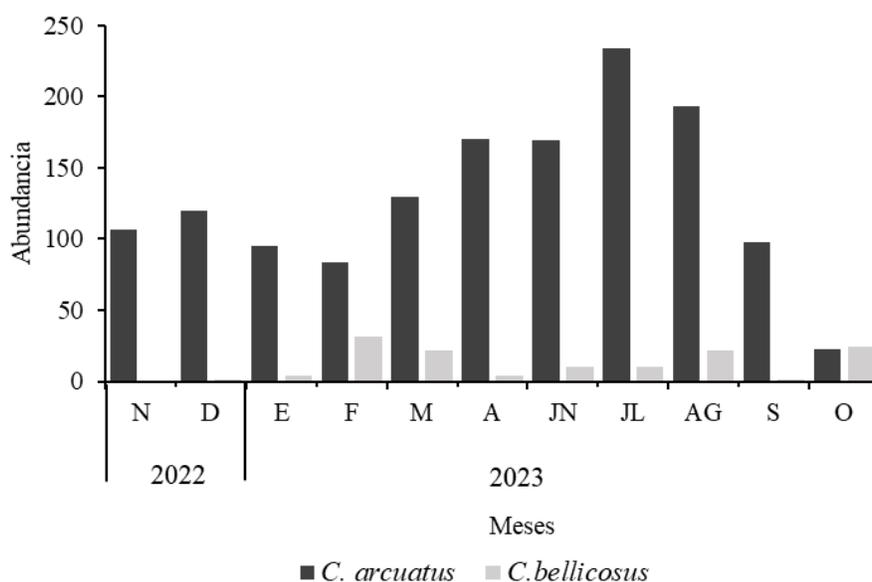
En la laguna Ohuira, se registró una temperatura promedio anual de  $25.7 \pm 2.78$  °C. Los valores mínimos se observaron en enero de 2023, con 17.7 °C, y los máximos en julio de 2023, alcanzando los 32.7 °C. Respecto a la salinidad, se registró un promedio de  $31.45 \pm 2.78$  ups, con un mínimo en octubre de 2023 (27.6 ups) y un máximo en noviembre de 2022 (35.2 ups). En cuanto al oxígeno disuelto, se obtuvo un promedio de  $6.14 \pm 2.23$  mg/l, se registró un mínimo en abril de 2023 (4.06 mg/l) y un máximo en enero de 2023 (11.84 mg/l). El pH promedio fue de  $8.28 \pm 0.67$ , con un mínimo en noviembre de 2022 (7.04) y un máximo en octubre de 2023 (9.22). Respecto a la profundidad, con un promedio de  $1.79 \pm 0.33$  m, varió entre 1.10 y 2.20 m durante todo el período de muestreo. En relación con la turbidez, con un promedio de  $41.01 \pm 7.35$  cm, se registró la menor medida en marzo de 2023 (32 cm) y la mayor en febrero, septiembre y octubre de 2023 (50 cm) (Tabla I).

**Tabla I.** Parámetros ambientales (promedio  $\pm$  D.E.) por mes, en el periodo de noviembre de 2022 a octubre de 2023 de la laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa.

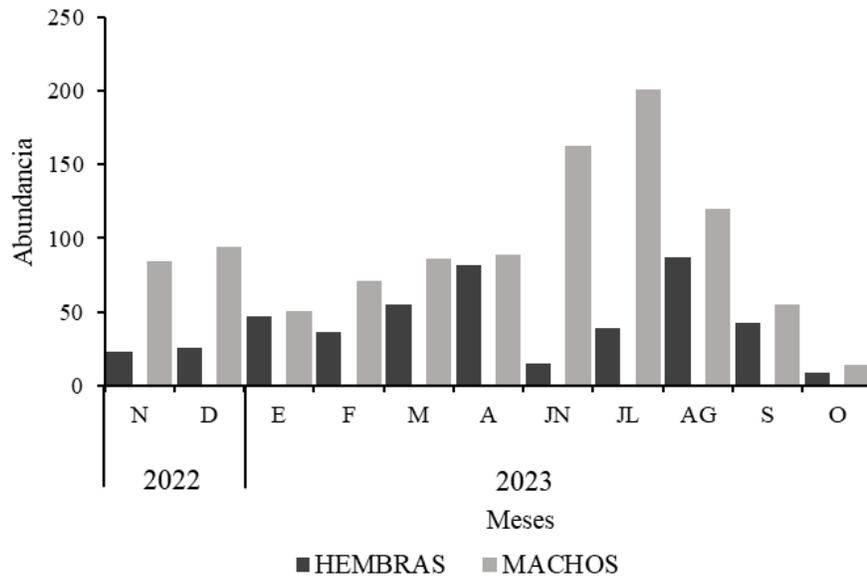
Mes	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)	pH	Oxígeno disuelto (mg/L)	Turbidez (cm)	Profundidad (m)
Nov-22	$21.56 \pm 2.20$	$35.20 \pm 1.64$	$7.04 \pm 2.10$	$7.07 \pm 0.90$	$39.00 \pm 8.90$	$1.76 \pm 0.65$
Dic-22	$23.60 \pm 6.04$	$34.80 \pm 3.96$	$7.16 \pm 2.13$	$6.43 \pm 2.05$	$34.00 \pm 4.10$	$2.16 \pm 0.82$
Ene-23	$17.70 \pm 0.86$	$28.20 \pm 5.67$	$8.44 \pm 0.36$	$11.40 \pm 8.69$	$45.2 \pm 10.25$	$1.68 \pm 0.46$
Feb-23	$20.60 \pm 1.19$	$30.40 \pm 1.81$	$8.32 \pm 0.23$	$6.40 \pm 0.89$	$50.00 \pm 12.24$	$1.64 \pm 0.41$
Mar-23	$2.66 \pm 0.75$	$30.80 \pm 2.16$	$7.92 \pm 0.23$	$5.22 \pm 1.38$	$32.00 \pm 8.36$	$1.10 \pm 0.13$
Abr-23	$27.54 \pm 0.88$	$29.40 \pm 2.88$	$8.24 \pm 0.11$	$4.06 \pm 0.89$	$33.00 \pm 4.47$	$1.48 \pm 0.27$
Jun-23	$30.32 \pm 1.35$	$33.80 \pm 1.30$	$8.62 \pm 0.04$	$4.30 \pm 0.48$	$46.00 \pm 8.94$	$2.20 \pm 0.62$
Jul-23	$32.76 \pm 1.12$	$35.00 \pm 1.58$	$8.68 \pm 0.14$	$4.03 \pm 0.48$	$34.00 \pm 6.51$	$2.02 \pm 0.24$
Ago-23	$30.22 \pm 1.19$	$29.80 \pm 1.92$	$8.72 \pm 0.20$	$4.30 \pm 0.48$	$38.00 \pm 13.03$	$1.96 \pm 0.45$
Sep-23	$28.50 \pm 0.50$	$31.00 \pm 0.70$	$8.84 \pm 0.05$	$6.35 \pm 0.10$	$50.00 \pm 15.81$	$1.50 \pm 0.35$
Oct-23	$27.22 \pm 0.68$	$27.60 \pm 0.89$	$9.22 \pm 0.08$	$7.26 \pm 0.02$	$50.00 \pm 20$	$1.96 \pm 0.50$

## 9.2 Abundancia de las jaibas

El número total de especímenes colectados fue de 1,552 jaibas, se identificaron dos especies del género *Callinectes* en la laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. En el mes de julio, se presentó la mayor abundancia de especímenes (244 jaibas) y la menor en octubre (47 jaibas). La especie dominante con 1423 organismos y de interés para este estudio fue *Callinectes arcuatus*, contando con el mayor número de organismos en el mes de julio (234 jaibas) y la menor cantidad en octubre (23 jaibas; Fig. 12). En cuanto a los datos obtenidos por sexo, el número total de hembras recolectadas fue de 462, mientras que para machos fue de 1,028. De noviembre de 2022 a octubre de 2023 predominaron los machos sobre las hembras (Fig.13). El sexo de interés en este estudio son las hembras de *C. arcuatus* que registraron su mayor abundancia en el mes de agosto del 2023 (87 jaibas) y la menor en octubre del 2023 (nueve especímenes).

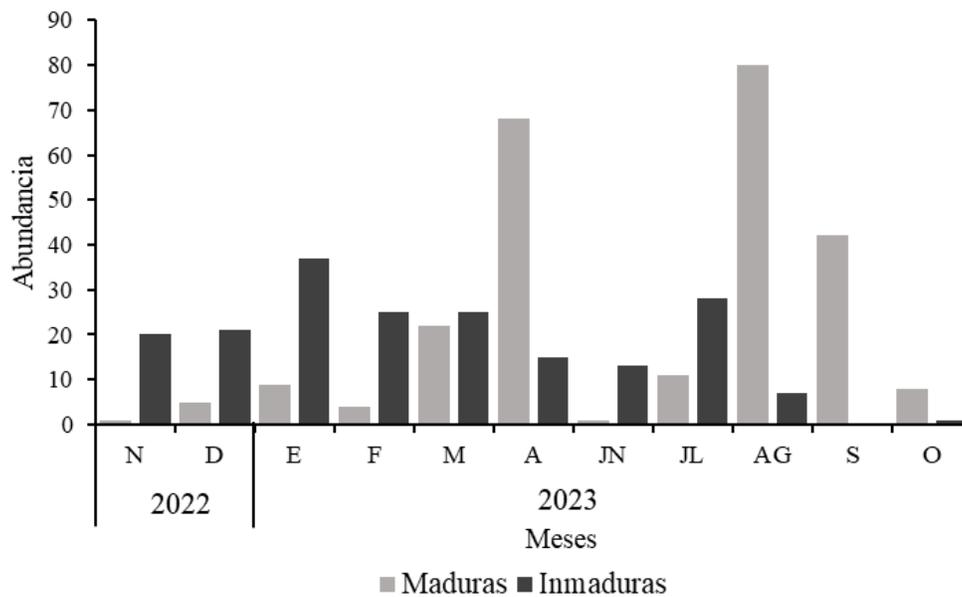


**Figura 12.** Abundancia de cada especie (*C. arcuatus* y *C. bellicosus*) separada por mes, en la laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa.



**Figura 13.** Organismos separados por sexo (hembras y machos) para cada mes de muestreo, en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa.

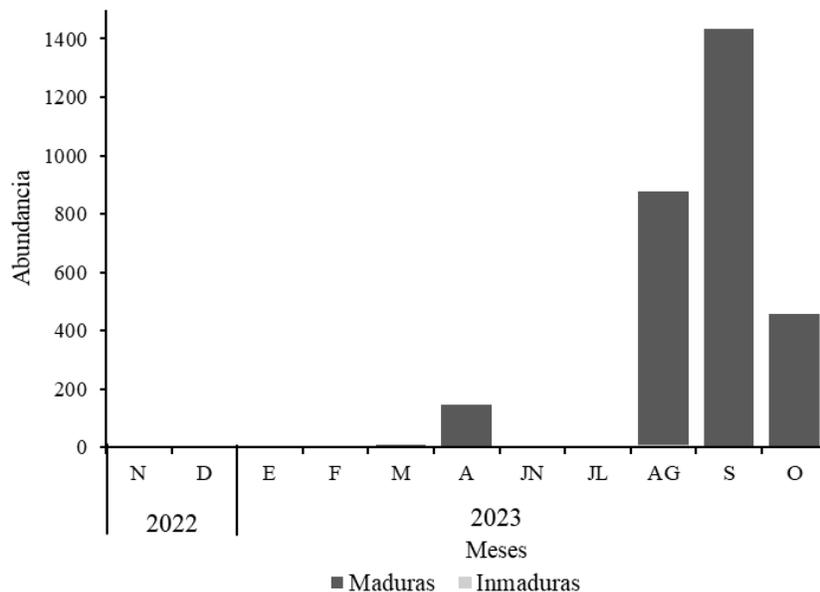
Se comparó la madurez de las hembras de *C. arcuatus*, todos los meses contaron con la presencia de hembras maduras e inmaduras, a excepción de septiembre de 2023 que no tuvo hembras inmaduras. El mes que registró mayor número de hembras maduras fue agosto con 80 jaibas, enero conto con la mayor cantidad de inmaduras (37 organismos; Fig. 14).



**Figura 14.** Estado de madurez de las hembras de *C. arcuatus*.

### 9.3 Abundancia del parásito *O. californiana*.

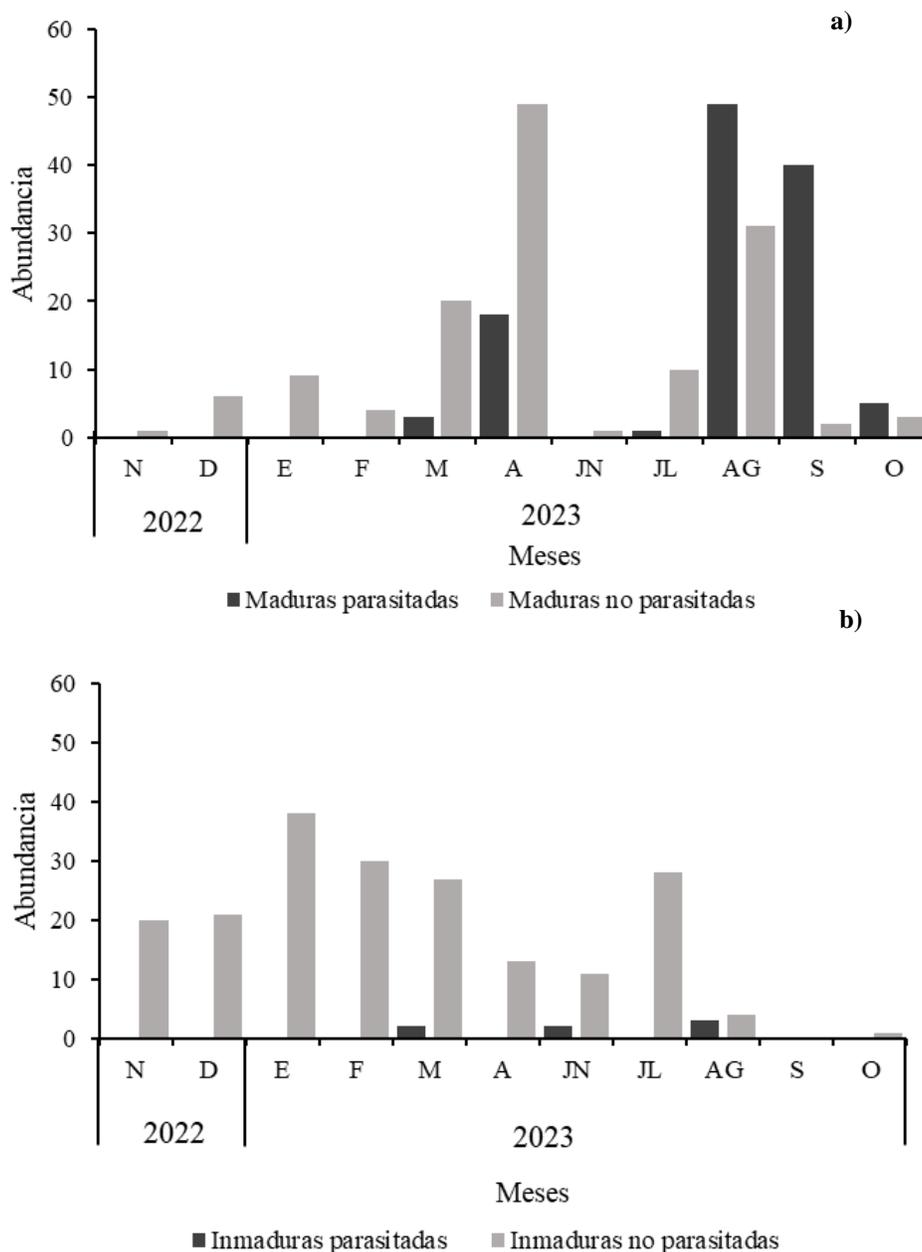
La abundancia total de parásitos fue de 2,945 (Hembras maduras e inmaduras). Septiembre contó con la mayor cantidad de parásitos en hembras maduras con 1,436, la menor cantidad se observó en noviembre y diciembre de 2022 y en enero, febrero y junio de 2023 que no registraron presencia de parásitos. En cuanto a las hembras inmaduras, se encontró presencia del parásito solo en los meses de marzo, abril, junio y agosto de 2023 con tres, seis, cinco y siete parásitos, respectivamente. La jaiba con el mayor número de parásitos encontrados se registró en agosto de 2023 con 98 ejemplares (Fig. 15).



**Figura 15.** Abundancia de parásitos (*O. californiana*) en hembras maduras e inmaduras, de noviembre del 2022 a abril del 2023.

La abundancia total de hembras *C. arcuatus* parasitadas (presencia de *O. californiana*) fue de 123 jaibas, 116 maduras y siete inmaduras. En cuanto a no parasitadas, se registraron 308 hembras en total, de las cuales 136 eran maduras y 172 inmaduras. Agosto de 2023 contó con la mayor cantidad de hembras maduras e inmaduras parasitadas con 49 y tres organismos, respectivamente; mientras que, en abril de 2023 se observó el mayor número de hembras maduras no parasitadas (49) y en enero de 2023 el mayor número de hembras inmaduras no parasitadas (38) (Fig.16). En el periodo de estudio, no se presentaron diferencias

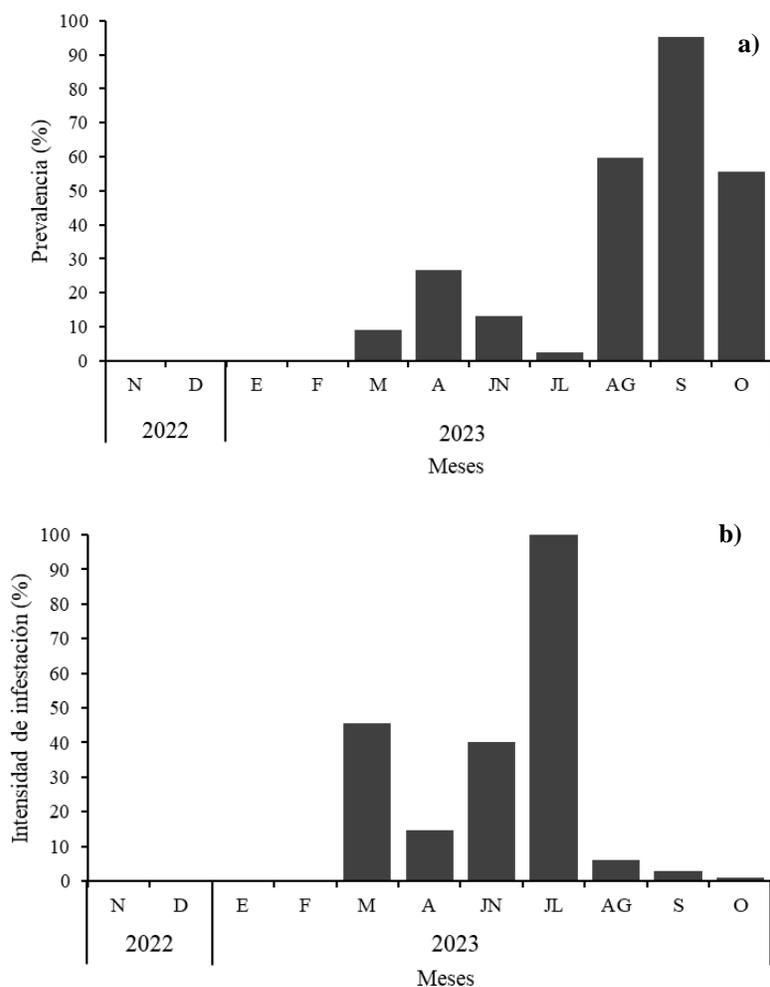
significativas entre hembras maduras parasitadas y no parasitadas ( $K-W_{(H)} = 2.1829$ ;  $p = 0.1395$ ); en cuanto a hembras inmaduras parasitadas y no parasitadas si existe una diferencia significativa ( $K-W_{(H)} = 10.9964$ ;  $p = 0.00091$ ).



**Figura 16.** Abundancia de hembras de *C. arcuatus* parasitadas y no parasitadas, de noviembre de 2022 a octubre de 2023, en la Laguna Ohiura, Ahome, Sinaloa. a) hembras maduras, b) hembras inmaduras.

#### 9.4 Prevalencia e intensidad de infestación

De los 431 organismos examinados, se encontraron 123 jaibas parasitadas, lo que representa una prevalencia del 27 % y una intensidad de infestación del 28.53 %. Durante los meses de muestreo, se registraron valores máximos de prevalencia en septiembre, alcanzando 95 %, y mínimos en julio, con tan solo 1 %. Es importante destacar que desde noviembre de 2022 hasta febrero de 2023 no se detectó la presencia de hembras parasitadas (Fig. 17a). En cuanto a la intensidad de infestación, se observó un máximo en julio, con 100 %, y un mínimo en octubre, con 1 % (Fig. 17b).



**Figura 17.** Prevalencia e intensidad de infestación de *O. californiana* en *C. arcuatus* por mes, de noviembre de 2022 a octubre de 2023 en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. a) Prevalencia (%), b) Intensidad infestación (%).

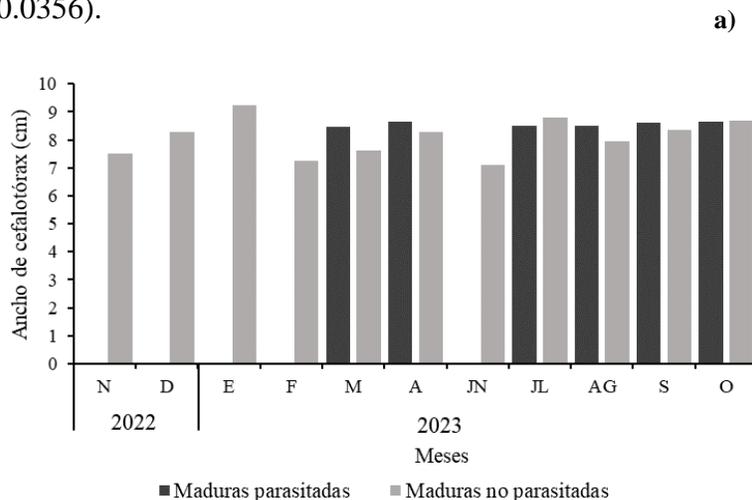
### 9.4.1 Grado de infestación

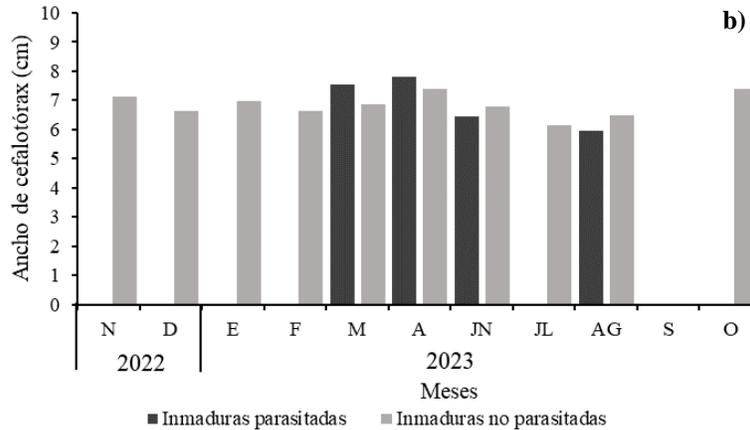
El grado de infestación por *O. californiana* en hembras de *C. arcuatus* se categorizó en una escala de 0 a 4, donde 0 se refiere a la ausencia de parásitos y 4 el grado más alto de infestación. En este estudio se registró un medio alto grado de infestación (58- 79 parásitos/jaiba).

### 9.5. Estructura de tallas

#### 9.5.1. Ancho de cefalotórax

Los resultados mostraron que el ancho de cefalotórax en hembras maduras parasitadas presentó una tendencia trimodal, con un promedio de 8.6 cm durante los meses de abril, septiembre y octubre de 2023, siendo este el mayor promedio registrado. En contraste, las hembras maduras no parasitadas mostraron una tendencia unimodal en enero, alcanzando el mayor promedio de 9.24 cm (Fig. 18a). Por su parte, las hembras inmaduras parasitadas presentaron una tendencia unimodal en abril, con un promedio de 7.8 cm, mientras que las hembras inmaduras no parasitadas evidenciaron una tendencia bimodal en abril y octubre, con un promedio de 7.4 cm. (Fig. 18b). No se detectaron diferencias significativas entre hembras maduras parasitadas y no parasitadas ( $K-W_{(H)} = 0.6737$ ;  $p = 0.4117$ ), en el caso de hembras inmaduras parasitadas y no parasitadas si se encontró diferencia significativa ( $K-W_{(H)} = 4.4154$ ;  $p = 0.0356$ ).

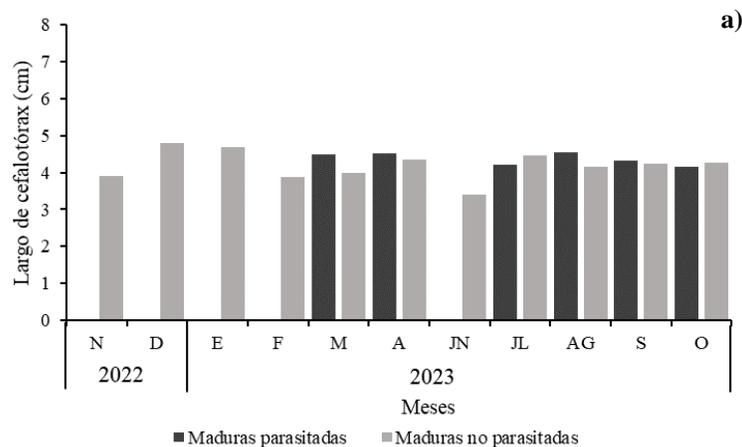




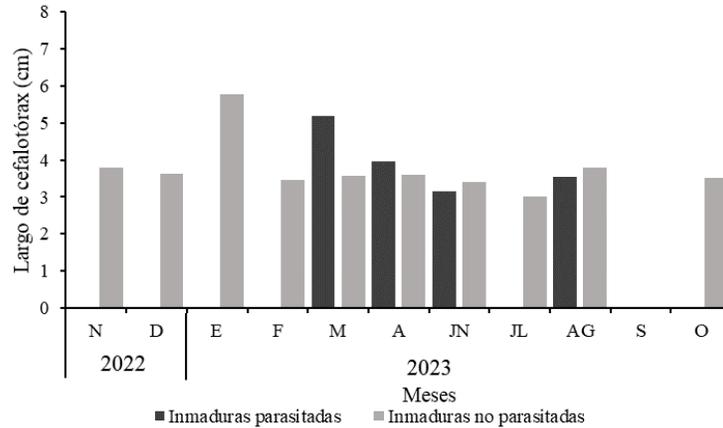
**Figura 18.** Ancho de cefalotórax en hembras parasitadas y no parasitadas de noviembre de 2022 a octubre de 2023 en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. a) hembras maduras, b) hembras inmaduras.

### 9.5.2. Largo de cefalotórax

Los resultados mostraron que el largo de cefalotórax en hembras maduras parasitadas presentó una tendencia bimodal con un promedio de 4.5 cm. En contraste, las hembras maduras no parasitadas mostraron una tendencia unimodal, alcanzando 4.8 cm en diciembre de 2022 (Fig. 19a). Por otro lado, las hembras inmaduras parasitadas presentaron una tendencia unimodal con un promedio de 5.2 cm en marzo de 2023, mientras que las inmaduras no parasitadas también mostraron una tendencia unimodal, con un promedio de 5.8 cm en enero de 2023 (Fig. 19b). No se encontraron diferencias significativas en la longitud del cefalotórax entre hembras maduras parasitadas y no parasitadas ( $K-W_{(H)} = 1.5566$ ;  $p = 0.2121$ ). En cuanto a las hembras inmaduras, el análisis indicó que existe una diferencia significativa entre las parasitadas y no parasitadas ( $K-W_{(H)} = 4.1437$ ;  $p = 0.0417$ ).



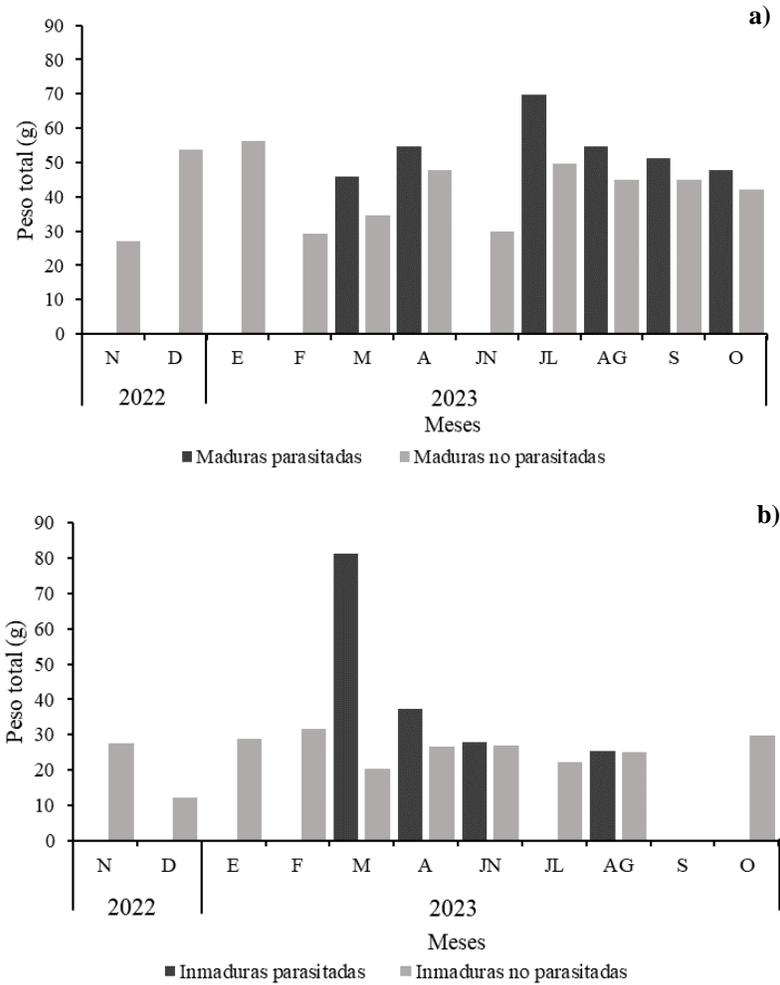
b)



**Figura 19.** Largo de cefalotórax en hembras parasitadas y no parasitadas de noviembre de 2022 a octubre de 2023 en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. a) hembras maduras, b) hembras inmaduras.

### 9.5.3. Peso total

En relación con el peso total de los organismos, las hembras maduras parasitadas mostraron una tendencia unimodal con un promedio de 69.67 g en julio de 2023. De manera similar, las hembras maduras no parasitadas presentaron una tendencia unimodal en enero de 2023, con un promedio de 56.36 g (Fig. 20a). Por su parte, las hembras inmaduras parasitadas registraron una tendencia unimodal en marzo de 2023, con un promedio de 81.4 g, mientras que las inmaduras no parasitadas mostraron una tendencia unimodal en febrero de 2023, con un promedio de 31.67 g (Fig. 20b). Los análisis estadísticos revelaron que no existen diferencias significativas entre hembras maduras parasitadas y no parasitadas ( $K-W_{(H)}=0.1822$ ;  $p=0.6695$ ), pero no entre hembras inmaduras parasitadas y no parasitadas ( $K-W_{(H)}=2.087$ ;  $p=0.1485$ ).

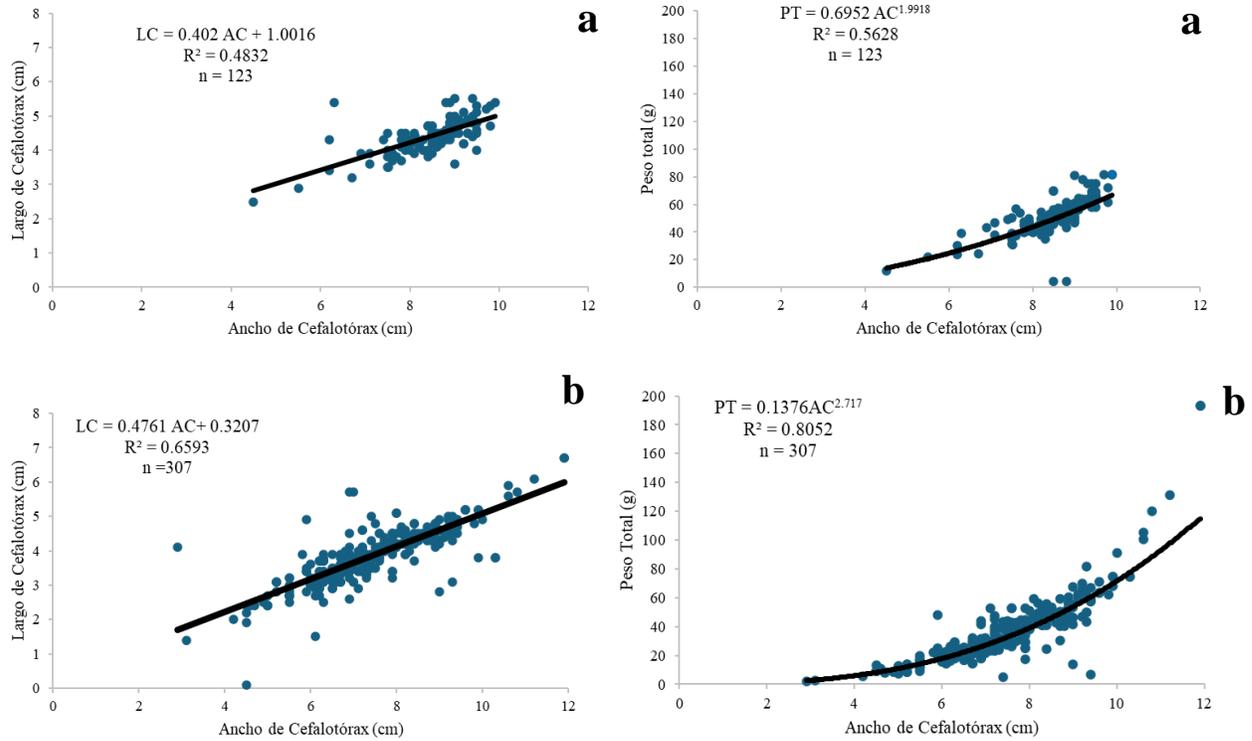


**Figura 20.** Peso de hembras parasitadas y no parasitadas de noviembre de 2022 a octubre de 2023 en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. a) hembras maduras, b) hembras inmaduras.

## 9.6. Relaciones Morfométricas

En cuanto a las relaciones entre Largo de cefalotórax (LC) y Ancho de cefalotórax (AC) para hembras de *C. arcuatus* parasitadas (n= 123), se ajustaron a un modelo de tipo lineal  $LC= 0.402+1.0016$  con un coeficiente de determinación de  $R^2= 0.4832$ . La ecuación que describe la relación Peso total (PT)-Ancho de cefalotórax (AC) se ajustaron a un modelo tipo potencial  $PT= 0.6952^{1.9918}$  con un coeficiente de determinación de  $R^2= 0.5628$  (Fig. 21a).

Para la relación Ancho de cefalotórax-Largo de cefalotórax para hembras de *C. arcuatus* no parasitadas (n=307), se ajustaron a un modelo tipo lineal,  $LC= 0.4761+0.3207$ , con una  $R^2=0.6593$  y la relación Peso total-Ancho de cefalotórax que se ajustó a un modelo tipo potencial  $PT= 0.1376^{2.717}$  con  $R^2= 0.8052$ . (Fig. 21b) (Tabla II y III).



**Figura 21.** Relaciones morfométricas de Largo de cefalotórax (LC)-Ancho de cefalotórax (AC) y Peso total (PT)-Ancho de cefalotórax (AC) de a) hembras de *C. arcuatus* parasitadas, y b) hembras de *C. arcuatus* no parasitadas.

**Tabla II.** Resumen de las ecuaciones de regresión para las relaciones del ancho de cefalotórax (AC)-Largo de cefalotórax (LC) de *C. arcuatus* en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa, México.

Parámetros	Sexo	Categoría	Regresión	R <sup>2</sup>	P
AC (X)	Hembra	Parasitada	LC= 0.402+1.0016	0.4832	<0.05
LC (Y)	Hembra	No Parasitada	LC=0.4761+0.3207	0.6593	<0.05

**Tabla III.** Resumen de las ecuaciones de regresión para las relaciones de Ancho de cefalotórax (AC)-Peso total (PT) de *C. arcuatus* en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa, México.

Parámetros	Sexo	Categoría	Regresión	R <sup>2</sup>	b	Estad. de t	t <sup>^</sup>	Crecimiento
AC (X)	Hembra	Parasitada	Pt= 0.6952 <sup>1.9918</sup>	0.5628	1.9918	1.64	4.65	Alométrico negativo
PT (Y)	Hembra	No Parasitada	Pt= 0.1376 <sup>2.717</sup>	0.8052	2.717	1.64	3.63	Alométrico negativo

## 9.7. Reproducción

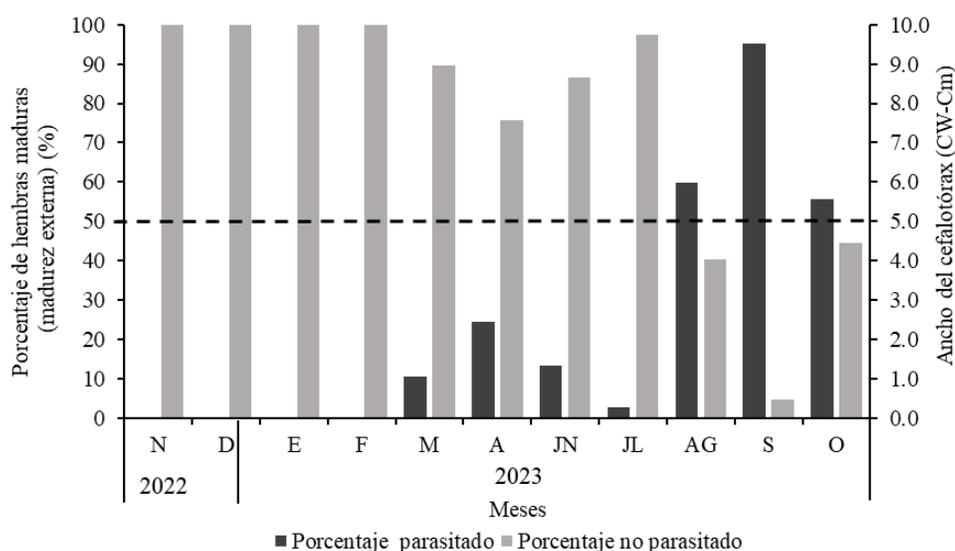
### 9.7.1. Madurez externa

Octubre fue el mes que registro la primera talla de madurez con 5.6 cm de AC.

Durante el periodo de noviembre de 2022 a febrero de 2023, se registraron los mayores porcentajes de organismos con madurez externa, sin el parásito *O. californiana*, con un 100 % de madurez en toda esa temporada.

Por otro lado, los meses que mostraron una menor cantidad de organismos maduros sin parasitar fueron agosto, septiembre y octubre de 2023.

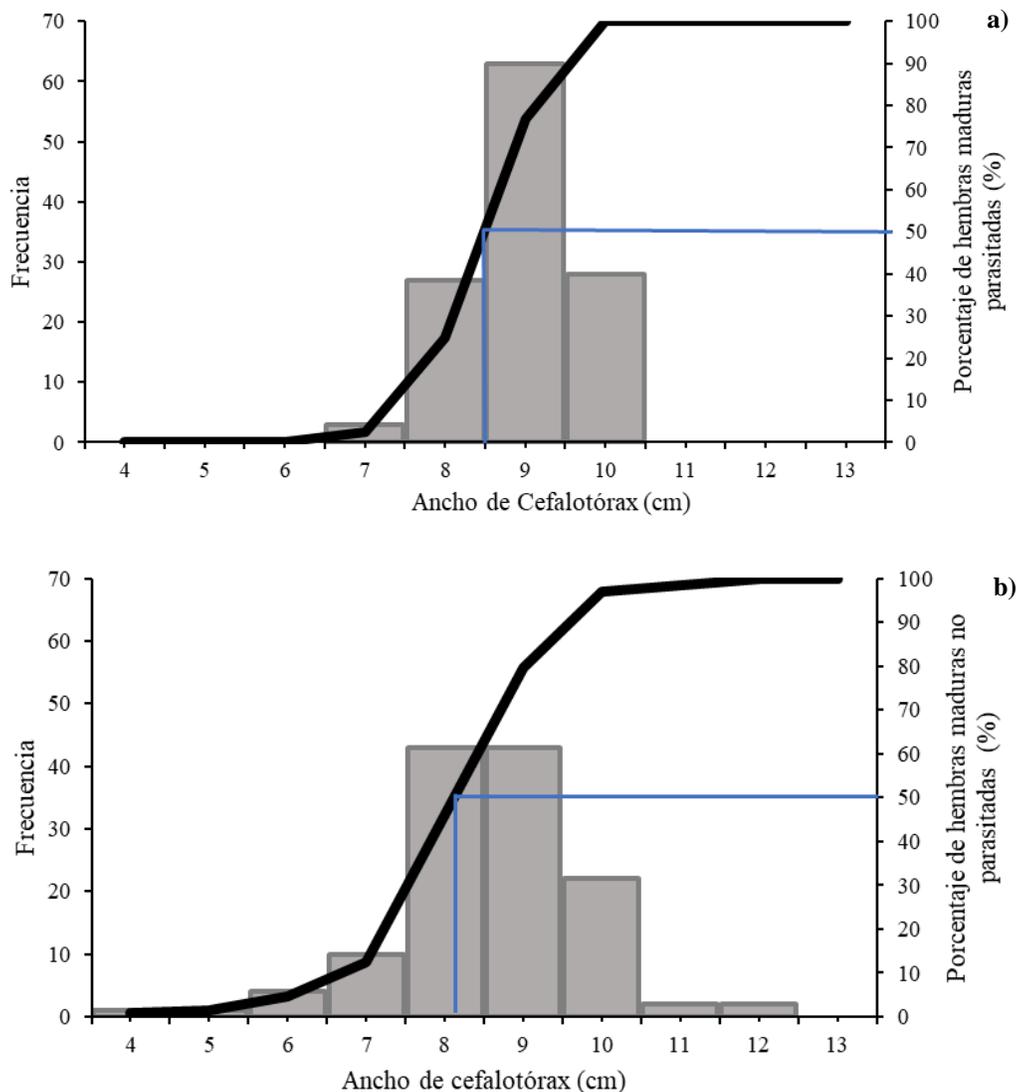
En cuanto a los organismos de *C. arcuatus* parasitados, se observó el mayor porcentaje en septiembre de 2023, con 95 %, mientras que el menor se registró en julio, con 2.5 %. Es importante destacar que la presencia de organismos parasitados se detectó desde marzo hasta octubre de 2023 (Fig. 22).



**Figura 22.** Madurez externa de jaiba azul *C. arcuatus* parasitadas y no parasitadas en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa.

La talla de primera madurez externa para las hembras de jaiba azul *C. arcuatus* parasitadas por el cirrípedo *O. californiana* fue de 8.5 cm de AC, con un intervalo de 4 a 13 cm (Fig. 23a) y en el caso de las hembras no parasitadas fue de 8.1 cm de AC, con el mismo intervalo (4 a 13 cm) (Fig. 23b). En los análisis estadísticos se evidenció una diferencia significativa

en la talla de primera madurez externa entre hembras parasitadas y no parasitadas de *C. arcuatus* ( $F_{calculada}= 11.30$ ;  $F_{critica}= 3.87$ ;  $p= 0.000089$ ).



**Figura 23.** Curvas de la talla de madurez externa de jaiba azul *C. arcuatus*: a) parasitadas y b) no parasitadas en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa.

### 9.7.2. Desarrollo gonadal macroscópica e histológica.

#### 9.7.2.1. Evaluación macroscópica de las gónadas (color) para hembras parasitadas y no parasitadas.

Se estableció una escala de desarrollo gonadal, considerando la coloración de los órganos reproductivos (observaciones macroscópicas) para hembras de jaiba azul *C. arcuatus*.

**Estadio 1 (Inmaduras):** Los ovarios inmaduros (OI) son blancos/transparentes, pequeños y aplanados y no se extienden dentro del hepatopáncreas, se extienden junto al hepatopáncreas, pero en este caso por ser inmaduros no se aprecian a simple vista. Es difícil observar los ovocitos a simple vista. La sección posterior, situada en la región cardíaca e intestinal, forma dos lóbulos paralelos.



**Figura 24.** Hembra de jaiba azul *C. arcuatus* inmadura (etapa 1).

**Estadio II (Desarrollo):** Los ovarios en desarrollo (OD) son amarillo/naranja, ligeramente nodulados. Ovocitos individuales son visibles. La relación de tamaño de los ovarios y del hepatopáncreas aproximadamente 1:2, y los dos lóbulos de la región posterior están empezando a convertirse en prolongaciones.



**Figura 25.** Hembra de jaiba azul *C. arcuatus* en desarrollo de la gónada (etapa 2).

**Estadio III (Madurez):** Los ovarios maduros (OM) son de color amarillo/naranja, grande y nodulados. Los ovocitos son sólo visibles a través de la pared del ovario. Región anterior desplaza al hepatopáncreas, y las regiones centrales y posteriores ocupan casi todo el espacio en el gástrico posterior y las cavidades intestinales.



**Figura 26.** Hembra de jaiba azul *C. arcuatus* madura (etapa 3).

**Estadio IV (Desove):** Los ovarios en desove (ODV) son de color naranja intenso, con apariencia aplanada. Los ovocitos residuales son sólo visibles a través de la pared del ovario.



**Figura 27.** Hembra de jaiba azul *C. arcuatus* en desove (etapa 4).

### **9.7.3. Caracterización de los estadios gonádicos (Histología) para hembras parasitadas y hembras no parasitadas.**

Para el análisis histológico, se utilizaron 153 hembras de *C. arcuatus*, pertenecientes al periodo de captura de noviembre de 2022 a octubre de 2023, con excepción del mes de veda (mayo de 2023), durante el cual no se capturaron organismos.

Se midieron un total de 60 ovocitos por estadio gonadal, de los cuales 30 pertenecían a hembras parasitadas y 30 a hembras no parasitadas.

#### **9.7.3.1. Hembras parasitadas.**

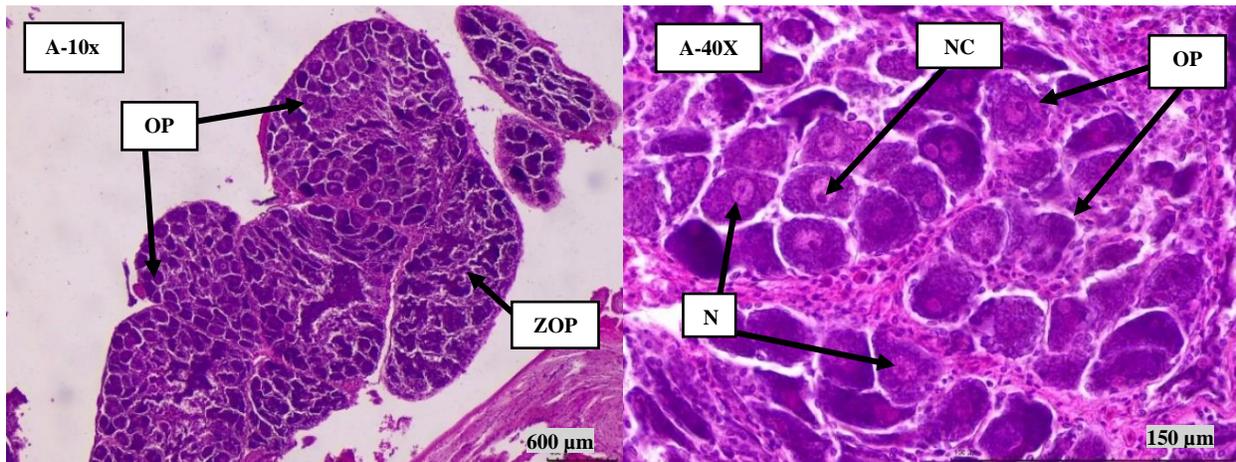
**Inmaduro:** Se pueden observar zonas de proliferación de oogonias (ZPO), además de ovocitos previtelogénicos (OP) en su mayoría (95%), con un intervalo de 18.73 a 62.17  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $33.24 \pm 10.43 \mu\text{m}$ . Los núcleos de los ovocitos presentaron un nucléolo (NC) periférico. Ovocitos basófilos (Fig. 28A).

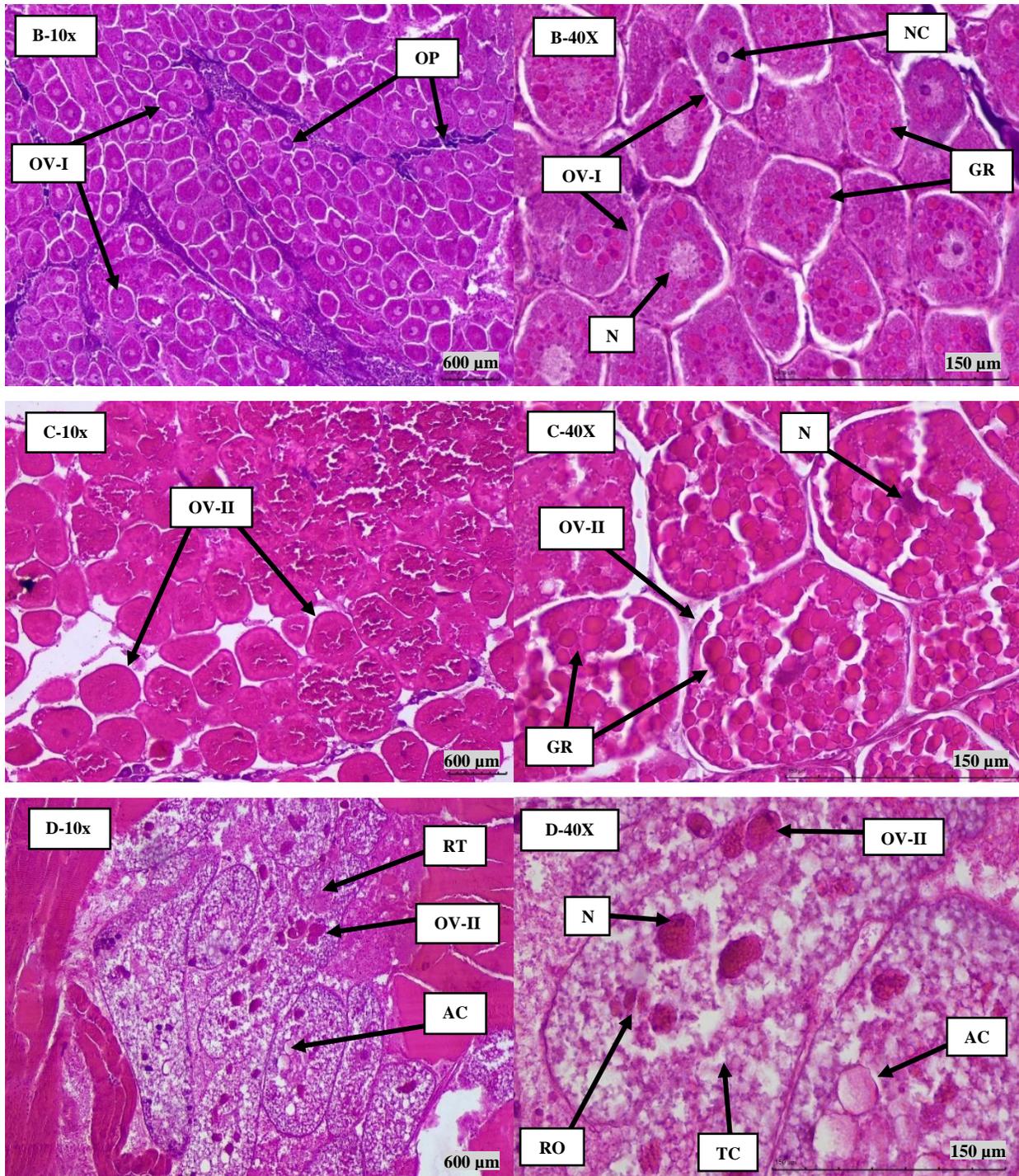
**Desarrollo:** Presencia de ovocitos en etapa I de vitelogénesis (OV-I) en su mayoría (85%), con un intervalo de 48 a 80.35  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $60.43 \pm 7.5 \mu\text{m}$ , y ovocitos en previtelogénesis (OP) (15%). Los ovocitos en etapa I de vitelogénesis presentaron un núcleo

(N) céntrico basófilo poco visible, con un nucléolo (NC) periférico, se observan claramente gránulos de reservas (GR). Los ovocitos se observan separados entre ellos. Ovocitos eosinófilos (Fig. 28B).

**Maduro:** Se observan ovocitos (95%) en etapa II de vitelogénesis (OV-II) con un intervalo de 84.95 a 190.33  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $130.58 \pm 20.92 \mu\text{m}$ , cuando se logra apreciar el núcleo (N), éste es periférico, y cuenta con un nucléolo (NC). Los gránulos de reservas (GR) se aprecian fácilmente. No hay espacios entre cada ovocito. Ovocitos eosinófilos (Fig. 28C).

**Desove:** Se aprecian algunos ovocitos en etapa II de vitelogénesis (OV-II) con un intervalo de 16.40 a 35.13  $\mu\text{m}$  con un promedio de  $24.12 \pm 4.69 \mu\text{m}$ , y restos de tejido conectivo, en los cuales, se conservan los acinos (AC) que ocupaban los ovocitos en el estadio de maduración. En algunos ovocitos pueden observarse fácilmente el núcleo (N), nucléolo (NC), y gránulos de reserva (GR). Ovocitos eosinófilos (Fig. 28D).





**Figura 28.** Estadios Histológicos del desarrollo gonadal (Hembras Parasitadas) de las jaibas *Callinectes arcuatus*: A. Inmaduro, B. Desarrollo, C. Maduro, D. Desove. AC. Acino, TC. Tejido Conjuntivo, N. Núcleo, NC. Nucléolo, ZPO. Zona de Proliferación de Oogonias, OP. Ovocito Previtelogénicos, OV-I. Ovocito en Etapa I de Vitelogénesis, OV-II. Ovocito en Etapa II de Vitelogénesis, GR. Gránulos de Reserva. RT. Restos de Tejido, RO. Resto de Ovocito.

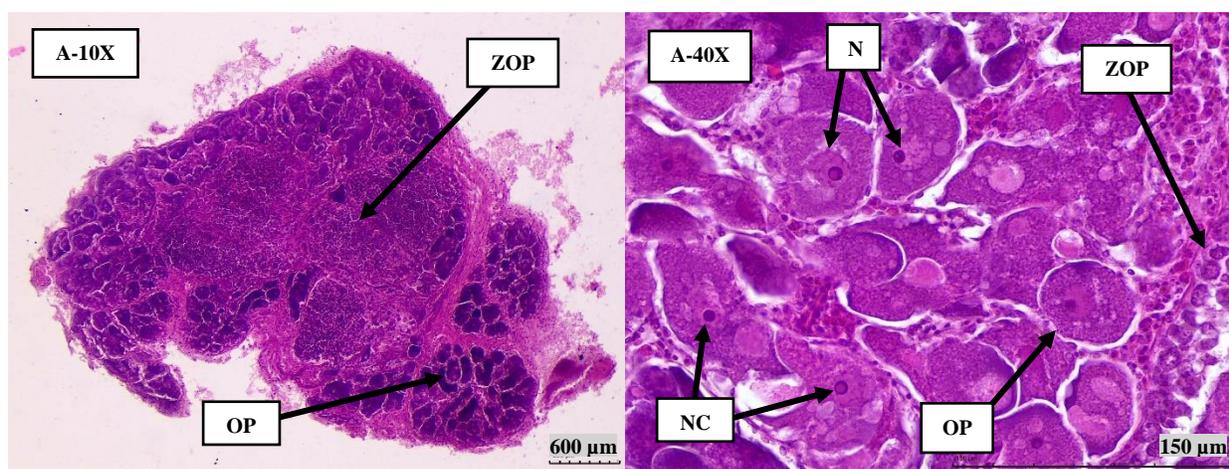
### 9.7.3.2. Hembras no parasitadas.

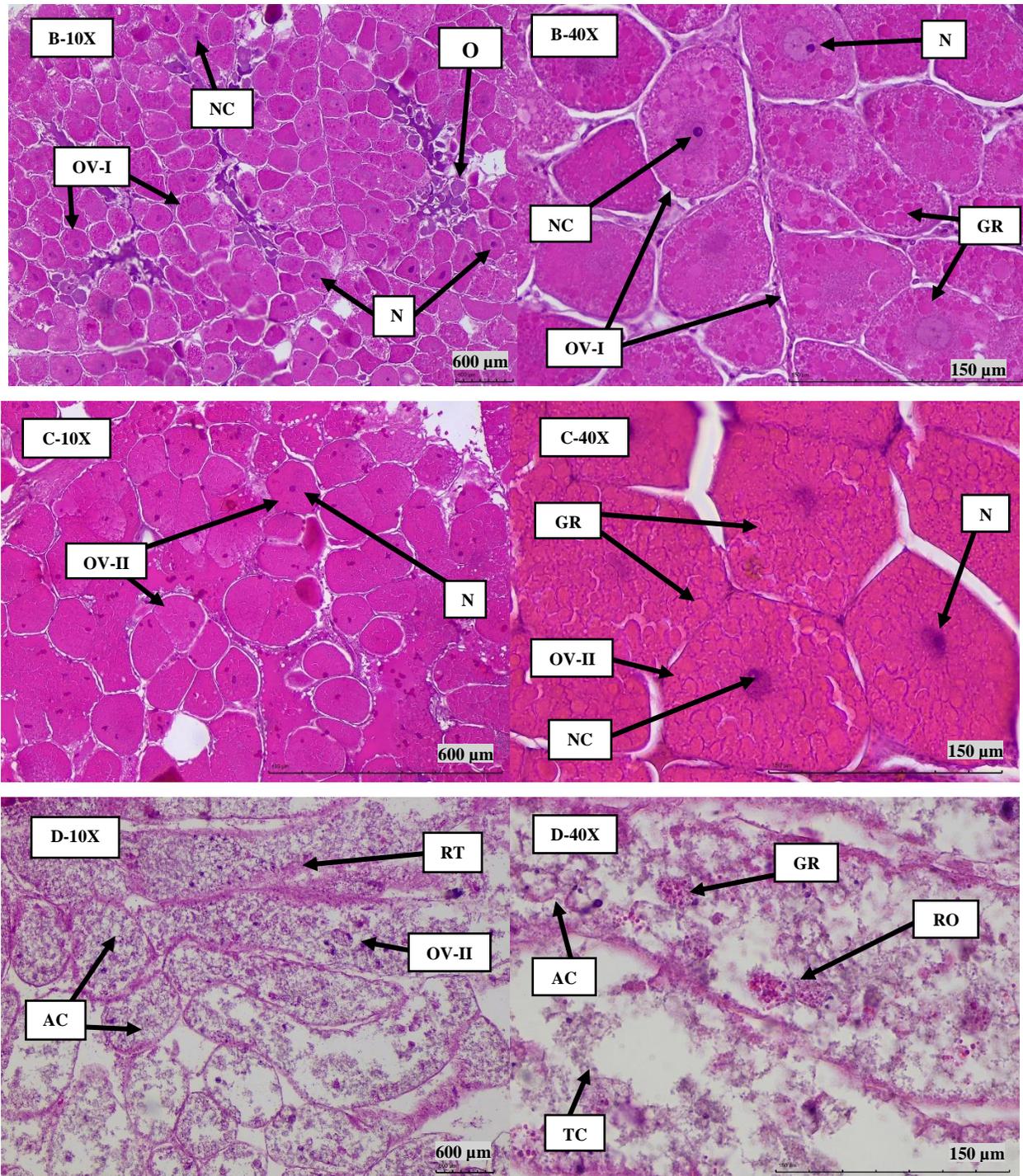
**Inmaduro:** Se pueden observar zonas de proliferación de oogonias (ZPO), además de ovocitos previtelogénicos (OP) en su mayoría (65%), con un intervalo de 7.56 a 55.67 con un promedio de  $27.69 \pm 10.64 \mu\text{m}$ . Los núcleos de los ovocitos presentan un nucléolo (NC) periférico. Ovocitos basófilos (Fig. 29A).

**Desarrollo:** Presencia de ovocitos en etapa I de vitelogénesis (OV-I) en su mayoría (85%), con un intervalo de 28.93 a 87.62  $\mu\text{m}$  con promedio de  $57.56 \pm 15.51 \mu\text{m}$ , y ovocitos en previtelogénesis (OP) (15%). Los ovocitos en etapa I de vitelogénesis presentan un núcleo (N) céntrico basófilo poco visible, con un nucléolo (NC) periférico, se observan claramente gránulos de reservas (GR). Los ovocitos se observan separados entre ellos. Ovocitos eosinófilos (Fig. 29B).

**Maduro:** Se observan ovocitos (95%) en etapa II de vitelogénesis (OV-II) con un intervalo de 69.25 a 228.46  $\mu\text{m}$  con promedio de  $118.74 \pm 20.45 \mu\text{m}$ , cuando se logra apreciar el núcleo (N), éste es periférico, y cuenta con un nucléolo (NC). Los gránulos de reservas (GR) se aprecian fácilmente. No hay espacios entre cada ovocito. Ovocitos eosinófilos (Fig. 29C).

**Desove:** Se aprecian algunos ovocitos en etapa II de vitelogénesis (OV-II) con un intervalo de 15.94 a 38.89  $\mu\text{m}$  con promedio de  $22.66 \pm 5.52 \mu\text{m}$ , y restos de tejido conectivo, en los cuales, se conservan los acinos (AC) que ocupaban los ovocitos en el estadio de maduración. En algunos ovocitos pueden observarse fácilmente el núcleo (N), nucléolo (NC), y gránulos de reserva (GR). Ovocitos eosinófilos (Fig. 29D).





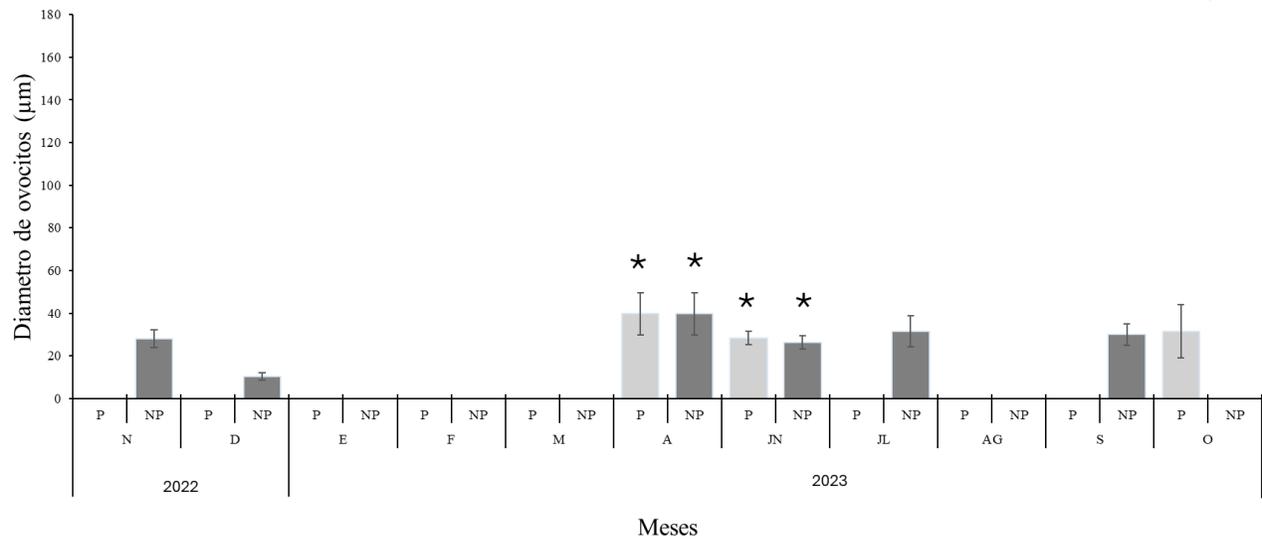
**Figura 29.** Estadios Histológicos del desarrollo gonadal (Hembras no parasitadas) de las jaibas *Callinectes arcuatus*: A. Inmaduro, B. Desarrollo, C. Maduro, D. Desove. AC. Acino, TC. Tejido Conjuntivo, N. Núcleo, NC. Nucléolo, ZPO. Zona de Proliferación de Oogonias, OP. Ovocito Previtelogénicos, OV-I. Ovocito en Etapa I de Vitelogénesis, OV-II. Ovocito en Etapa II de Vitelogénesis, GR. Gránulos de Reserva. RT. Restos de Tejido.

#### **9.7.4. Diámetro de los ovocitos por estadio de desarrollo gonadal de las hembras de la jaiba**

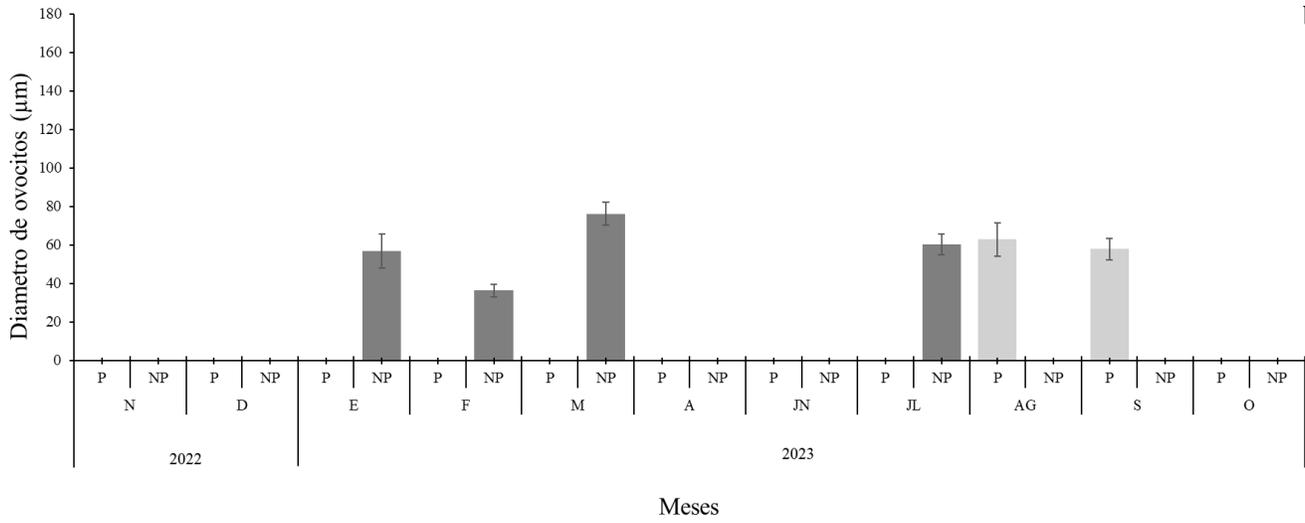
Se observaron diferencias significativas en los diámetros de los estadios de desarrollo de los ovocitos (histología) en las jaibas *C. arcuatus* en relación con la parasitación de hembras. Se encontraron diferencias significativas en dos estadios de desarrollo: para el estadio inmaduro ( $F= 25.6426$ ,  $p= 0.0000001$ ) y para el estadio maduro ( $F= 22.98$ ,  $p= 0.001$ ).

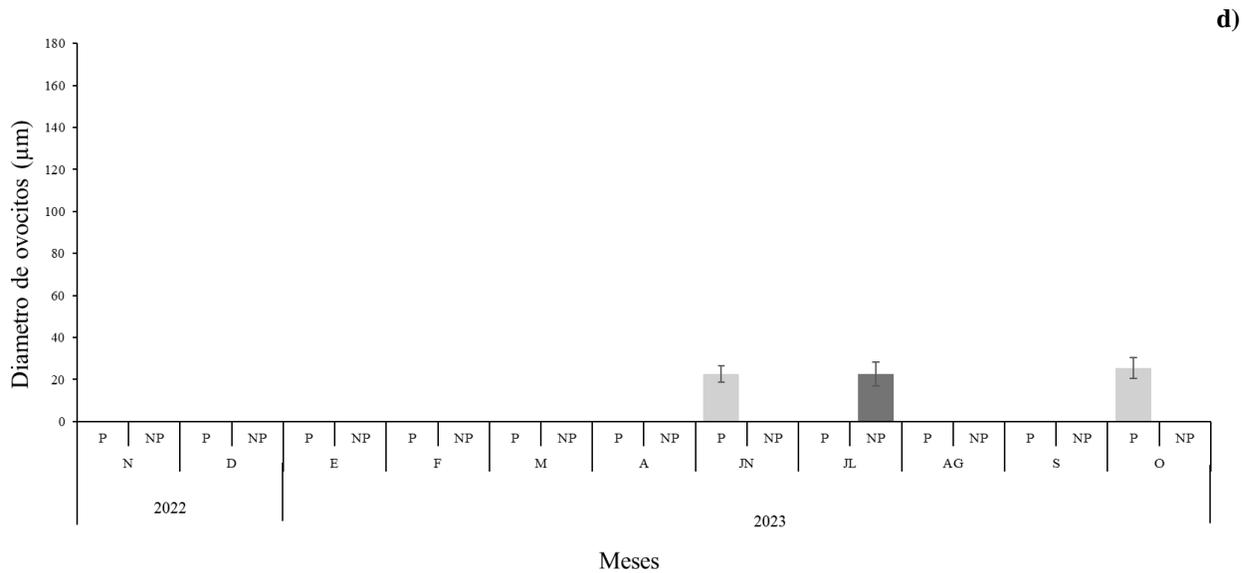
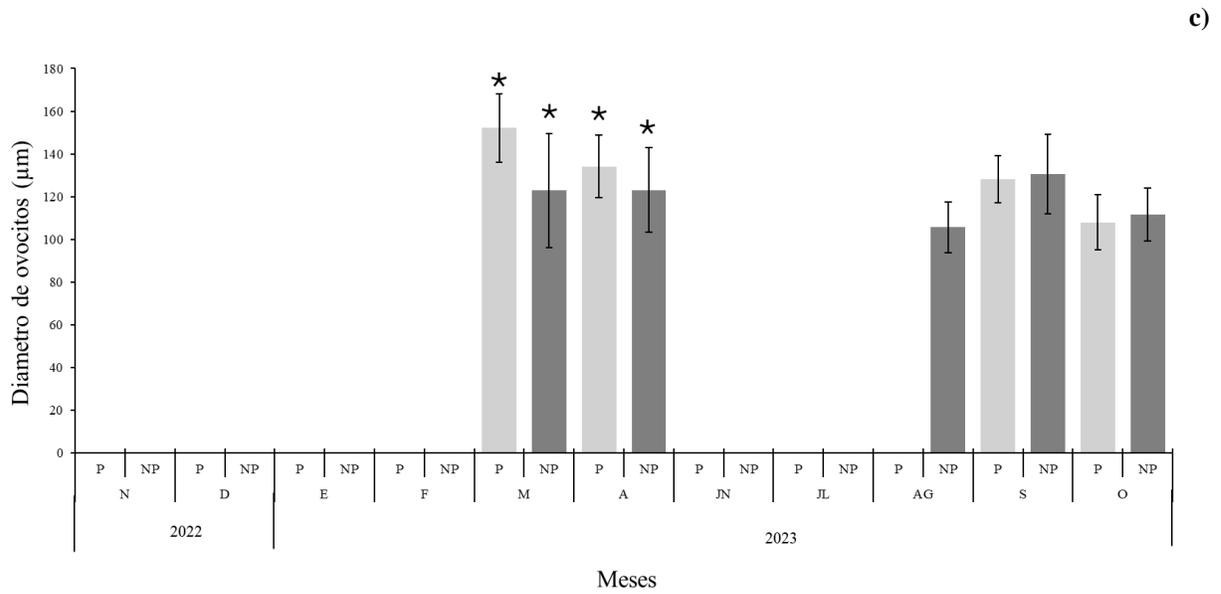
Durante el período comprendido entre noviembre de 2022 y octubre de 2023, se observaron diferencias significativas en la relación entre hembras parasitadas y no parasitadas en cada estadio de desarrollo gonádico por mes. Específicamente, se destacaron diferencias significativas en los meses de abril ( $p= 0.000001$ ) y junio ( $p= 0.012188$ ) de 2023 para el estadio inmaduro (Fig. 30a). Además, marzo y abril de 2023 mostraron una diferencia significativa en el estadio maduro ( $p= 0.000003$  y  $p= 0.017077$ , respectivamente) (Fig. 30c). Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en los meses restantes, con respecto a los estadios de desarrollo.

a)



b)



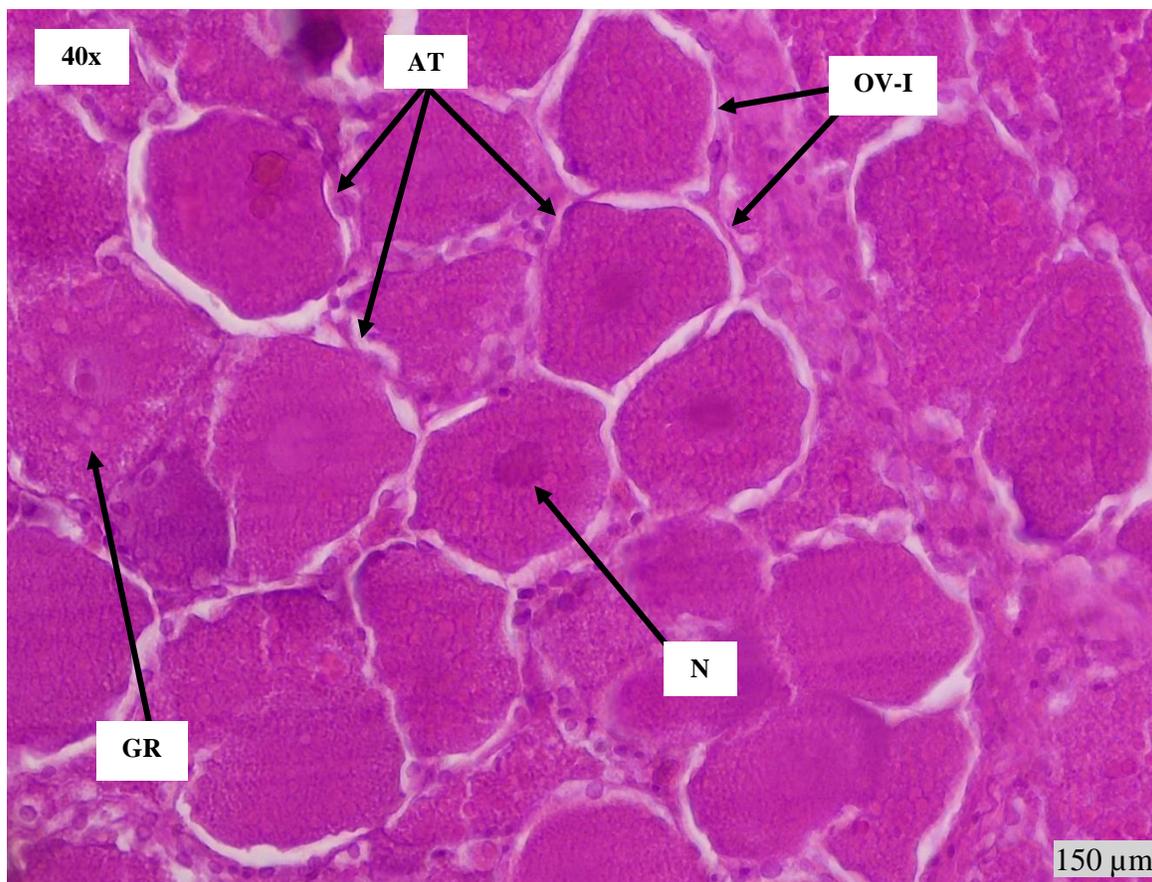


**Figura 30.** Diámetro de ovocitos por estadio de desarrollo gonadal (Histología) de hembras de jaiba *Callinectes arcuatus*. a) Inmaduro, b) Desarrollo, c) Maduro y d) Desove. \*diferencia significativa.

En cuanto a la frecuencia de hembras de *C. arcuatus* parasitadas según su estadio de desarrollo gonadal, se encontró una diferencia significativa en la frecuencia de hembras de jaiba azul en relación con su estado parasitado y no parasitado, así como su estadio de desarrollo gonádico ( $X^2_{pool(calculada)}=210.56$ ;  $X^2_{critica(0.05,10)}=18.30$ ;  $p<.05$ ).

### 9.7.5. Deformidad en ovocito de hembra de jaiba azul *C. arcuatus* parasitada.

En la gónada de la jaiba *C. arcuatus* en el estadio de desarrollo, se detectó presencia de ovocitos en etapa I de vitelogénesis que presentaban una notoria deformidad en el folículo ovárico (Fig. 31).

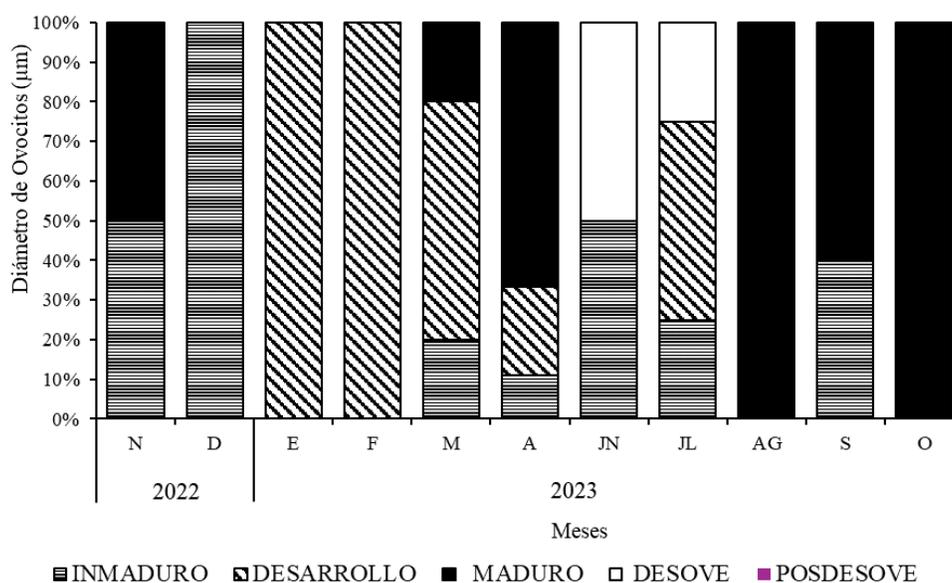


**Figura 31.** Ovocitos de jaiba azul *C. arcuatus* en etapa de desarrollo con deformidad en los folículos ováricos N. Núcleo, OV-I. Ovocito en Etapa I de Vitelogénesis, GR. Gránulos de Reserva. AT. Atresia.

### 9.8. Ciclo reproductivo de *C. arcuatus* no parasitadas.

Durante el período de estudio comprendido entre noviembre de 2022 y octubre de 2023, se realizó un análisis histológico que reveló desarrollo gonádico constante a lo largo de todos los meses. Se observaron períodos de desove en junio y julio de 2023, siendo junio el mes de mayor intensidad con 50%, mientras que julio mostró solo 20%. Los meses más relevantes en términos de etapa de madurez y desove fueron de abril a octubre de 2023.

La etapa de inmadurez se registró especialmente en diciembre de 2022, alcanzando 100%, con una talla promedio de 7.14 cm de longitud del ancho de cefalotorax (AC). Noviembre de 2022 y junio de 2023 mostraron 50%, mientras que meses como marzo, abril y septiembre de 2023 registraron periodos de inmadurez por debajo del 50%. El desarrollo alcanzó su punto máximo de enero a marzo de 2023, superando el 50%. Abril y junio de 2023 también presentaron esta etapa, aunque en menor porcentaje. La fase de madurez se observó en noviembre de 2022 con 50%, en marzo de 2023 con 20%, y en abril, agosto, septiembre y octubre de 2023 con más del 50% de organismos maduros, con tallas promedio de 8.16 cm de AC. El desove se observó únicamente en los meses de junio y julio de 2023, siendo más significativo en junio con 50% de organismos maduros y un ancho de cefalotórax promedio de 6.82 cm. En cuanto a la etapa de posdesove, no se observó durante el período de estudio (Fig. 32).

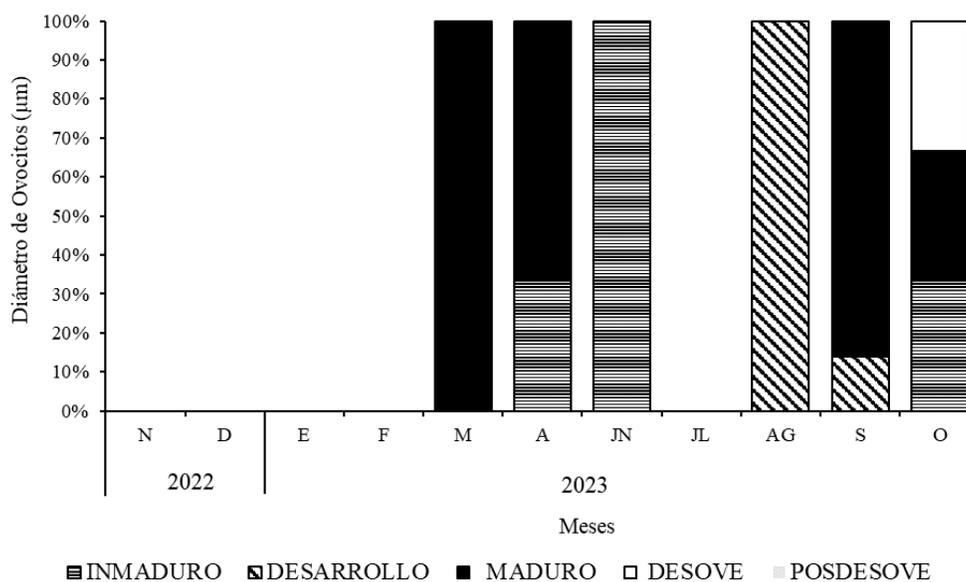


**Figura 32.** Fases del ciclo reproductivo de hembras de jaiba azul *C. arcuatus* no parasitadas en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. Frecuencia relativa de los estadios de la gónada de noviembre de 2022 a octubre de 2023.

### 9.9. Ciclo reproductivo de *C. arcuatus* parasitadas.

En las hembras de *Callinectes arcuatus* parasitadas, se detectaron organismos con presencia del parásito a partir de marzo de 2023, estableciéndose dicho mes como el inicio del ciclo de

reproductivo de hembras parasitadas, observó la etapa de madurez en marzo, abril y septiembre de 2023 con un porcentaje importante teniendo más de 60% de organismos en esta etapa y con un AC promedio de 8.49 cm, octubre de 2023 también presentó organismos en esta etapa de desarrollo, pero solo con el 30%. Los organismos inmaduros estuvieron presentes en abril, junio y octubre de 2023, siendo junio el mes más representativo con 100 % de organismos en estadio inmaduro y con un promedio de 6.45 cm de AC, junio y octubre contaron con menos del 30 %. La fase de desarrollo estuvo presente en agosto (100 %) y septiembre (10 %) con un AC promedio de 8.48 cm. La etapa de desove se presentó en el mes de octubre con 30 % de organismos y un AC promedio de 8.64 cm. La condición de posdesove no estuvo presente en este periodo de estudio (Fig. 33).

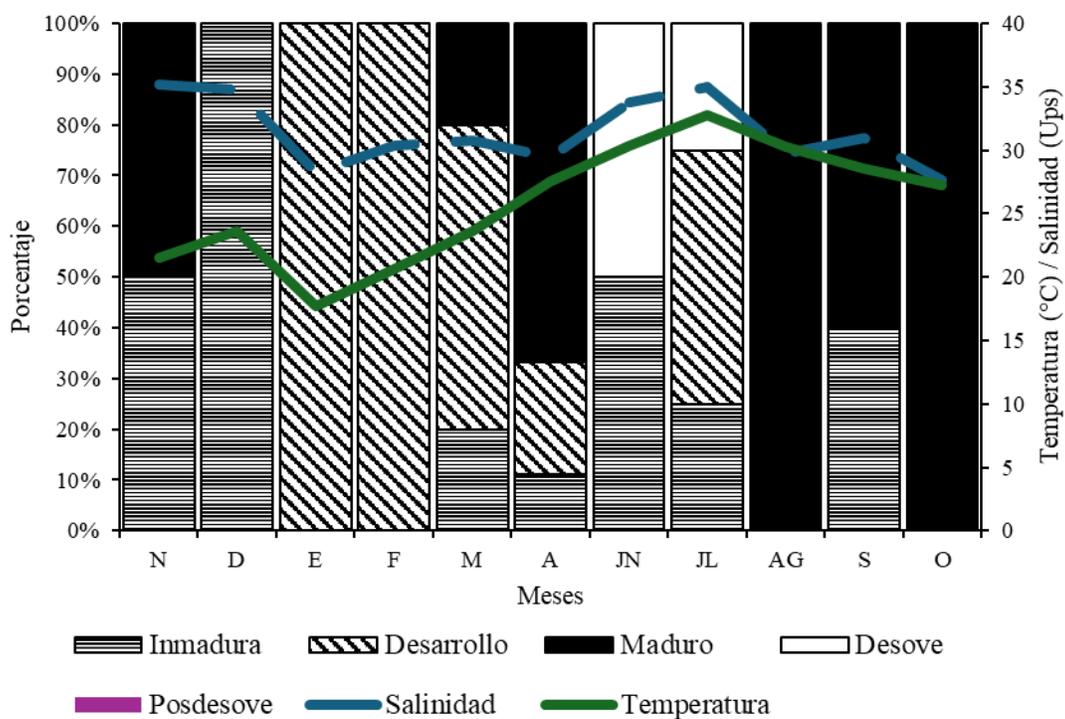


**Figura 33.** Fases del ciclo reproductivo de hembras de jaiba azul *C. arcuatus* parasitadas en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. Frecuencia relativa de los estadios de la gónada de noviembre de 2022 a octubre de 2023.

### 9.10. Ciclo reproductivo de *C. arcuatus* no parasitadas y variables ambientales.

Con respecto al ciclo reproductivo de *C. arcuatus* no parasitadas y su relación con las variables ambientales, se observó una relación entre las etapas reproductivas y la temperatura. A medida que los valores de temperatura aumentaban, se observó un incremento en la frecuencia de organismos en la fase de madurez y desove, especialmente durante los meses de marzo a junio de 2023. Por el contrario, al disminuir la temperatura (de junio a

octubre de 2023), predominó la fase de madurez, aunque aún se observaron organismos inmaduros, este mismo comportamiento se presentó en el primer mes de muestreo (noviembre de 2022) (Fig. 34). Al relacionar el porcentaje de organismos en cada una de las etapas reproductivas con la temperatura, se observó relación positiva con las fases de inmadurez ( $r= 0.2098$ ,  $p < 0.05$ ), desarrollo ( $r= 0.2296$ ,  $p < 0.05$ ), madurez ( $r= 0.4004$ ,  $p < 0.05$ ) y desove ( $r= 0.5860$ ,  $p < 0.05$ ). En lo que respecta a la salinidad, este parámetro mostró relación positiva con la fase de inmadurez ( $r= 0.6894$ ,  $p < 0.05$ ) y el desove ( $r= 0.5046$ ,  $p < 0.05$ ), pero en cuanto a la fase de madurez presentó una relación inversa ( $r= -0.4183$ ,  $p < 0.05$ ).

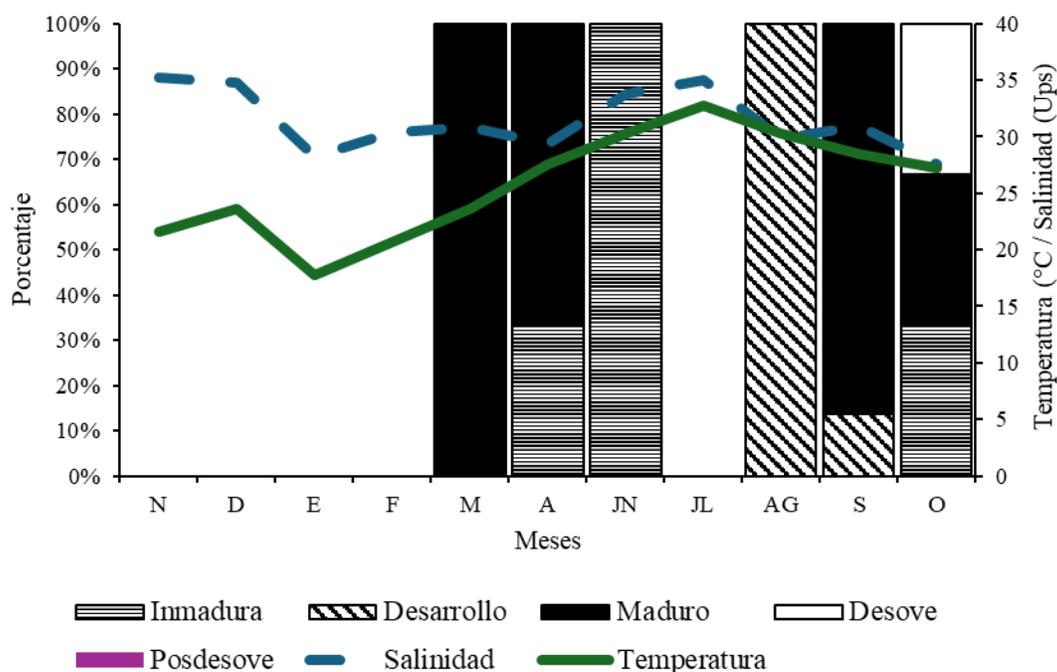


**Figura 34.** Fases del ciclo reproductivo de *C. arcuatus* no parasitadas, con respecto a la temperatura y salinidad de noviembre de 2022 a octubre de 2023 en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa.

### 9.11. Ciclo reproductivo de *C. arcuatus* parasitadas y variables ambientales.

Se observó una relación entre las etapas reproductivas y la temperatura, al ir elevándose los valores de temperatura se presentó un incremento en la frecuencia de organismos en fase de inmadurez y madurez (marzo a junio de 2023); al ir disminuyendo paulatinamente la temperatura (agosto a octubre de 2023), incrementaron los organismos en fase de desarrollo,

madurez y desove, así mismos se observaron organismos inmaduros en el mes de octubre de 2023 pero en menor porcentaje (Fig. 35). Al relacionar el porcentaje de organismos en cada una de las etapas reproductivas con la temperatura, se observó una relación positiva con las fases de inmadurez ( $r= 0.3509$ ,  $p < 0.05$ ), desarrollo ( $r= 0.3844$ ,  $p < 0.05$ ) y madurez ( $r= 0.2014$ ,  $p < 0.05$ ). Con respecto a la salinidad, se presentó una relación inversa con las fases de inmadurez ( $r= -0.2741$ ,  $p < 0.05$ ), desarrollo ( $r= -0.2037$ ,  $p < 0.05$ ) y desove ( $r= -0.4593$ ,  $p < 0.05$ ).



**Figura 35.** Fases del ciclo reproductivo de *C. arcuatus* parasitados por el cirrípedo *O. californiana*, con respecto a la temperatura y salinidad de noviembre de 2022 a octubre de 2023 en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa.

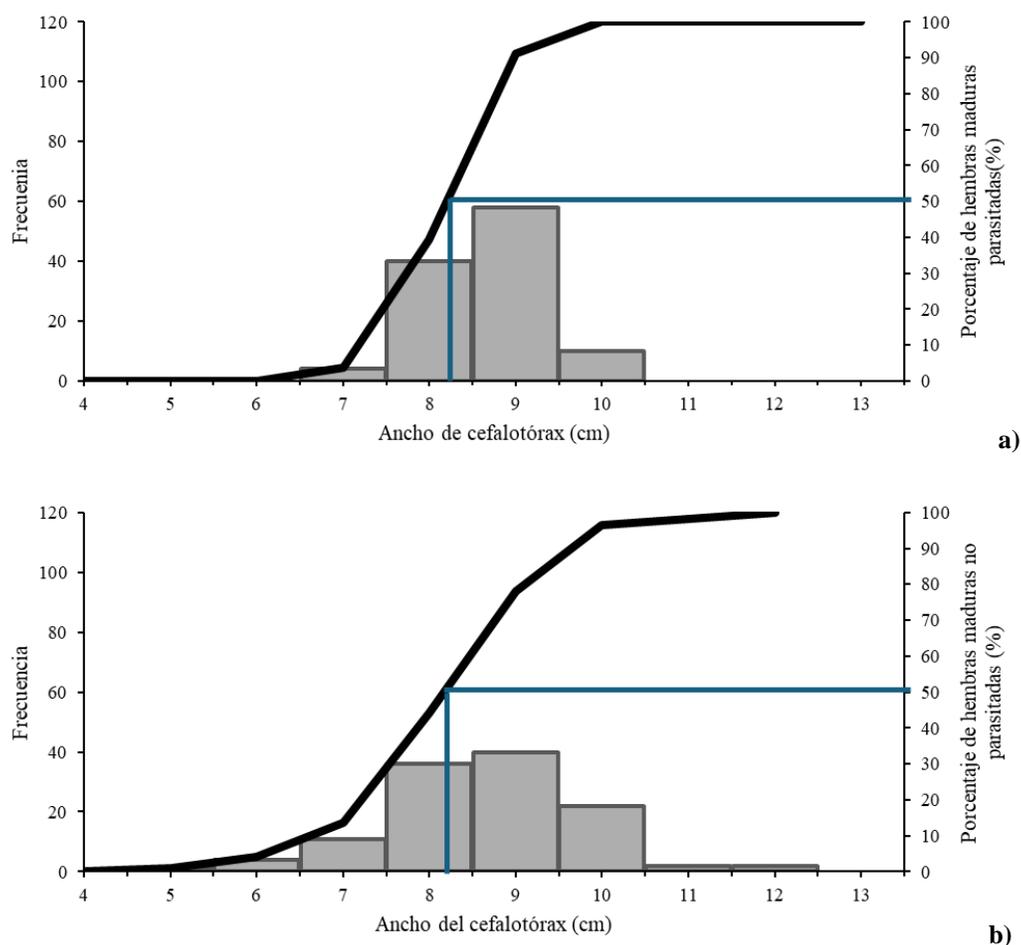
## 9.12. Talla de primera madurez.

Las tallas de primera madurez sexual ( $AC_{50}$ ), se obtuvieron considerando características histológicas de las gónadas en madurez de las hembras parasitadas y no parasitadas.

### 9.12.1 Hembras de jaiba azul *C. arcuatus* parasitadas y no parasitadas

La talla de primera madurez ( $AC_{50}$ ) para hembras de jaiba azul *C. arcuatus* no parasitadas fue de 7.42 cm de AC, en el caso de las parasitadas fue 8.46 cm de AC, con un intervalo de 4 a 13 cm. en ambos casos la talla de madurez es representada en las gráficas con 8.2 cm de AC (Fig. 36) Los análisis estadísticos presentaron una diferencia significativa entre hembras

parasitadas y hembras no parasitadas ( $F_{cal}=7.87$ ;  $F_{critica}=3.88$ ;  $p= 0.0054$ ). Aunque las curvas parecen iguales o muy similares a simple vista, se detectó una diferencia significativa entre hembras parasitadas y no parasitadas, lo cual quiere decir que las frecuencias pueden tener diferencias más marcadas o específicas en ciertas clases de tamaños que no se alcanzan a distinguir a primera impresión. Sin importar que la talla de madurez se represente con el mismo AC para ambos casos, pueden existir aspectos que estén influyendo, como por ejemplo la proporción de hembras maduras en rangos de tamaños, en ocasiones las diferencias significativas no son perceptibles ya que estas se basan en detalles numéricos como las medias, que no son evidentes al momento de observar las gráficas o por la diversidad o dispersión de las tallas o variabilidad de los datos.



**Figura 36.** Curva de la talla de madurez de hembras a) parasitadas y b) no parasitadas de *C. arcuatus* de la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa. La línea es la curva ajustada bajo un modelo sigmoideal.

### **9.13. Análisis bioquímico de tejido blanco (gónada) de hembras de *C. arcuatus*.**

#### **9.13.1. Contenido de lípidos, proteínas y carbohidratos.**

##### **9.13.1.1 Lípidos**

A lo largo del periodo de muestreo de noviembre de 2022 a octubre de 2023, en hembras de jaiba azul no parasitadas se observa un mayor promedio de lípidos en el mes de abril de 2023 ( $150.47 \pm 150.08$  mg/ml), el menor se presentó en diciembre de 2022 ( $6.95 \pm 3.56$  mg/ml); En cuanto a las hembras de *C. arcuatus* parasitadas con el cirrípedo *O. californiana*, se evidenció un mayor promedio para los lípidos en el mes de octubre de 2023 ( $73.86 \pm 18.66$  mg/ml) y en marzo de 2023 se observó el menor ( $16.27 \pm 2.29$  mg/ml) (Fig. 33a). No se presentaron diferencias significativas en la concentración de lípidos en la gónada de hembras de jaiba azul parasitadas, en comparación con las no parasitadas ( $K-W_{(H)}= 2.1829$ ;  $p= 0.139$ ) (Tabla IV).

##### **9.13.1.2 Proteínas**

El mayor promedio en proteínas en hembras no parasitadas fue en noviembre de 2022 con  $45.16 \pm 2.24$  mg/ml y el menor ( $0.02 \pm 0.008$  mg/ml) se registró en agosto; mientras que, para hembras de jaiba azul parasitadas, octubre de 2023 presentó mayor promedio con  $16.93 \pm 3.25$  mg/ml y el menor fue de  $11.80 \pm 1.84$  mg/ml en el mes de abril de 2023; estadísticamente en el caso de proteínas, se mostró que el resultado es significativo ( $K-W_{(H)}= 5.5882$ ;  $p= 0.018$ ) (Tabla IV).

##### **9.13.1.3 Carbohidratos**

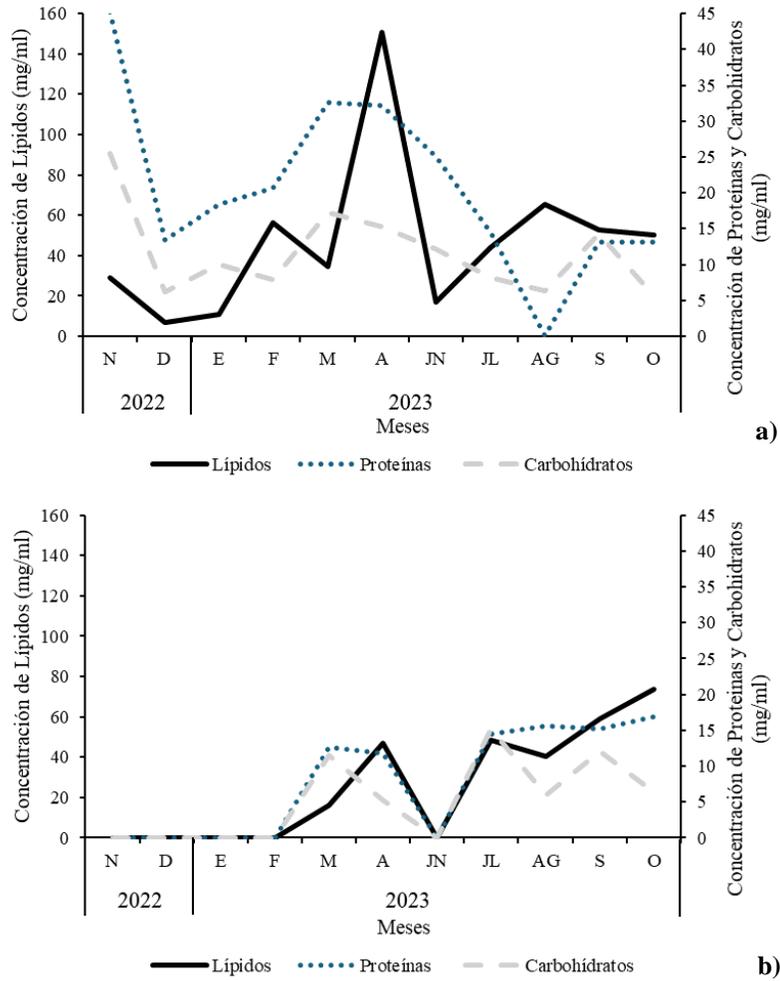
Los carbohidratos de las hembras no parasitadas mostraron mayor promedio en noviembre de 2022 ( $25.53 \pm 3.16$  mg/ml) y el menor en junio de 2023 con  $2.09 \pm 1.59$  mg/ml. En cuanto a hembras no parasitadas el mayor promedio se dio en julio de 2023 ( $15.13 \pm 0.86$  mg/ml); mientras que el menor ( $5.30 \pm 0.35$  mg/ml) se observó en abril de 2023 (Fig. 33b) (Tabla IV). En cuanto a la concentración de carbohidratos también se evidenció un resultado significativo ( $K-W_{(H)}= 5.588$ ;  $p= 0.018$ ).

**Tabla IV.** Contenido de lípidos, proteínas y carbohidratos (mg/ml) en la gónada de hembras de jaiba azul *C. arcuatus* parasitadas y no parasitadas en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa.

Meses	Lípidos		Proteínas		Carbohidratos	
	No Parasitadas	Parasitadas	No Parasitadas*	Parasitadas*	No Parasitadas*	Parasitadas*
Nov-22	29.04 ± 2.52	--	45.16 ± 2.24	--	25.53 ± 3.16	--
Dic-22	6.95 ± 3.56	--	13.46 ± 3.98	--	6.22 ± 3.49	--
Ene-23	10.80 ± 1.15	--	18.35 ± 0.89	--	9.99 ± 0.21	--
Feb-23	56.35 ± 40.43	--	20.64 ± 9.91	--	7.88 ± 2.88	--
Mar-23	34.80 ± 19.19	16.27 ± 2.29	32.53 ± 18.86	12.58 ± 0.44	17.20 ± 8.14	11.47 ± 0.32
Abr-23	150.47 ± 150.08	46.91 ± 15.15	32.09 ± 29.81	11.80 ± 1.84	15.30 ± 14.55	5.30 ± 0.35
Jun-23	16.89 ± 1.00	--	25.04 ± 1.49	--	2.09 ± 1.59	--
Jul-23	44.01 ± 15.99	48.35 ± 3.12	14.37 ± 3.49	14.49 ± 0.25	8.15 ± 3.12	15.13 ± 0.86
Ago-23	65.31 ± 23.17	40.45 ± 20.46	0.02 ± 0.008	15.59 ± 5.91	6.28 ± 2.63	5.96 ± 2.17
Sep-23	52.95 ± 12.07	59.03 ± 29.44	13.09 ± 0.72	15.16 ± 2.61	14.24 ± 12.83	12.11 ± 25.08
Oct-23	50.34 ± 16.07	73.86 ± 18.66	13.10 ± 2.27	16.93 ± 3.25	5.67 ± 2.06	6.41 ± 2.07

Los valores son la media ± desviación estándar expresada como la concentración de lípidos, proteínas y carbohidratos. (--) sin datos disponibles. \*) Diferencias significativas.

Al comparar los tres macronutrientes y separarlos por organismos parasitados y no parasitados, se puede observar que, en el caso de hembras no parasitadas, se presentan tres niveles máximos (febrero-marzo, abril-junio y agosto-septiembre de 2023) en donde se observa el aumento de lípidos; cuando estos tienen altos niveles de concentración, las proteínas y carbohidratos tienden a mantenerse con bajos niveles y viceversa (Fig. 37a). En el caso de las hembras parasitadas, se muestran tres niveles máximos, con una concentración máxima de lípidos (abril, julio y octubre de 2023); en cuanto a las proteínas, se observaron dos concentraciones máximas (marzo y agosto de 2023); mientras que marzo, julio y septiembre de 2023 fueron los meses que contaron con mayor concentración de carbohidratos (Fig. 37b).



**Figura 37.** Contenido de Lípidos, Proteínas y Carbohidratos (mg/ml) presentes en hembras de *C. arcuatus* a) no parasitadas y b) parasitadas por el cirrípedo *O. californiana* en la Laguna, Ohuira, Ahome, Sinaloa.

## **10. DISCUSIÓN**

### **10.1. Variables ambientales de la laguna Ohuira**

Los ecosistemas costeros, que abarcan lagunas, esteros, estuarios, desembocaduras de ríos y manglares, son vitales para la salud y la productividad del planeta. Estas áreas se caracterizan por su notable capacidad para generar materia orgánica, gracias a la existencia de organismos autótrofos como las plantas, que convierten la luz solar a través de la fotosíntesis. Al ser zonas ricas en nutrientes, ofrecen refugios esenciales para una amplia gama de especies, y desempeñan un papel crucial en la filtración de sedimentos y nutrientes. Estos lugares son puntos de encuentro entre ríos y océanos, creando una variedad de condiciones hidrodinámicas y ecológicas que favorecen la biodiversidad y una alta productividad biológica (Day et al., 1989). En este estudio, los valores de los parámetros ambientales registrados mensualmente durante el periodo de investigación coincidieron con los datos reportados por Diarte-Plata (2007; 2016) en la laguna El Colorado, Ahome, Sinaloa (que es laguna continua por lo que se conecta con la laguna de Ohuira). En su investigación, se registró una temperatura del agua que oscilaba entre 19.3 y 31.2 °C, con salinidad entre 35 y 37 UPS, niveles de oxígeno disuelto de 4.31 a 9.35 mg/L, una transparencia del agua de 0.40 a 1.40 m y una profundidad promedio de 1.7 m. Además, concuerda con lo presentado por Verduzco-Chávez (2021) en la laguna El Colorado, Ahome, Sinaloa, quien mencionó que la mayor temperatura se registró en verano con 36.71 °C, al igual que la mayor salinidad con 31.34 Ups. En el presente trabajo, durante el periodo de estudio en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa (noviembre 2022 a octubre 2023), se registró una temperatura mínima en enero de 2023 ( $17.7 \pm 0.86$  °C) y una máxima en julio de 2023 ( $32.76 \pm 1.12$  °C). La salinidad registró un máximo en noviembre de 2022 ( $35.2 \pm 1.64$  °C) y una mínima en octubre de 2023 ( $27.6 \pm 0.89$ ).

### **10.2. Abundancia de las jaibas.**

En los estuarios, ocurren variaciones repentinas y frecuentes en la salinidad, la temperatura y otros parámetros del agua, incluyendo la disminución del oxígeno disuelto. La supervivencia en estas condiciones depende de una capacidad de respuesta rápida y versátil, así como en la conservación o mantenimiento de un metabolismo que sea adaptable y flexible (Pascual-Jiménez, 2004). La influencia de las variables ambientales sobre la distribución de *C. arcuatus* en la zona de estudio, Laguna Ohuira, se evidencio a través de los valores

máximos de temperatura, los cuales coincidieron con los niveles más altos de abundancia para las hembras de jaiba azul en el área de estudio, en contraste en el caso de la salinidad se registraron valores mínimos entre agosto y octubre de 2023 lo que coincidió con la mayor abundancia de jaibas. En el caso de oxígeno disuelto, la tendencia de los valores mínimos fue de abril a agosto de 2023, la presencia de hembras de *C. arcuatus* fue de las más altas. Para la profundidad y turbidez, se observó que la abundancia mayor correspondía a los máximos de estas variables. En cuanto al pH, no se mostró una relación directa con la abundancia.

Las especies del género *Callinectes* se distribuyen dependiendo los requerimientos necesarios para el desarrollo de sus huevos, la supervivencia de las larvas y el proceso de muda. Es por este motivo que las jaibas llevan a cabo migraciones locales, desplazándose entre esteros y lagunas costeras durante las diferentes etapas de su vida, incluso cuando están ovigeras se mueven al ambiente oceánico en donde se presentan los parámetros ambientales necesarios para la eclosión de los huevecillos (Escamilla-Montes, 1998).

*Callinectes arcuatus* se distribuye en las costas del Golfo de California, desde Los Ángeles California, hasta Perú e Islas Galápagos, se encuentra con mayor frecuencia en aguas someras de estuarios y lagunas en climas templados y tropicales, así como en fondos con sustrato suave (lodosos o arenosos) y en ocasiones hasta la zona entre mareas. Su mayor abundancia ocurre entre los 0 y 5 m, pero pueden llegar a encontrarse en la plataforma continental hasta los 40 m de profundidad. En el presente estudio en la Laguna Ohuira se identificaron dos especies en la captura (*C. arcuatus* y *C. bellicosus*), de las cuales se observó una dominancia de *C. arcuatus*, lo cual puede atribuirse a las condiciones ambientales de la laguna que son aptas para el desarrollo de *C. arcuatus* (temperatura, salinidad, disponibilidad de recursos) y a que a pesar de haber otras especies con las que se comparte el nicho entre ellas mantienen una especie de barrera (como diferentes comportamientos o tiempo de reproducción) que evita que mezclen (Arreola-Lizárraga, 2007), en cuanto a los resultados coinciden con lo reportado por Escamilla-Montes (1998), que observó en El Conchalito de la Paz, Baja California Sur durante un ciclo anual de muestreo, que existe una mayor abundancia de *C. arcuatus* con 83.05 % sobre otras especies, contando con una variación de abundancia mensual donde *C. arcuatus* presentó un máximo en el mes de agosto. La tendencia de la abundancia observada en este estudio también concuerda con los hallazgos reportados por

Vega-Moro (2001) en su investigación en el complejo lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, ya que encontró que *C. arcuatus* era dominante sobre las especies que coexisten en la misma área geográfica. Por su parte, Ramos-Cruz (2008) en La Joya-Buenavista, Chiapas, México, observó que *C. arcuatus* llegó a representar hasta el 90 % de la pesca, lo que la catalogó como la especie más capturada en su estudio. Posteriormente, Lorenzana-Moguel (2012) señaló que, *C. arcuatus* representaba el 95 % de las capturas durante todo el año en el sistema Lagunar Mar Muerto, Chiapas. En un estudio más reciente, Verduzco-Chávez (2021) evidenció que en la Laguna El Colorado, Ahome, Sinaloa existe una dominancia estacional de *C. arcuatus* sobre otras especies del género *Callinectes*, registrando mayor abundancia en verano.

El comportamiento en cuanto a abundancia en este estudio, difiere de los reportados por Arreola-Lizárraga *et al.* (2003) y Hernández-Moreno y Arreola-Lizárraga (2007), quienes observaron que la especie simpátrica *C. bellicosus* tenía una abundancia superior a *C. arcuatus* en la laguna Las Guásimas, Sonora. Además, Diarte-Plata (2016) encontró resultados similares en la laguna El Colorado. Podemos atribuir estos resultados a las variables ambientales de las distintas áreas de estudio, ya que la salinidad tiene un importante papel en la distribución y abundancia de las especies del género *Callinectes*, por lo que dichos resultados pueden atribuirse a que *C. arcuatus* es una especie eurihalina (1-65 UPS), y presenta mejor desarrollo en lagunas costeras cuya salinidad disminuye por debajo de 30 ups, mientras que otras especies como *C. bellicosus* tienen un desarrollo más óptimo en salinidades de 30 a 38 UPS.

Labastida-Che y Núñez Orozco (2015) mencionan que en el sistema lagunar Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, México, *C. arcuatus* representa el 64 % de las capturas lo que la convierte en la especie de mayor abundancia. Durante el periodo de estudio (marzo 2005 a febrero 2006), se registraron 2,228 organismos. En el presente estudio, en el periodo de noviembre 2022 a octubre de 2023 también se registró mayor abundancia de *C. arcuatus* en todos los meses, especialmente en julio (234 organismos). Lo anterior puede deberse a diversos factores, entre los cuales se destacan la excelente adaptación de la especie a ciertas condiciones de salinidad, temperatura y tipo de sustrato. También una posible influencia puede ser que *C. arcuatus* tenga una ventaja competitiva sobre otras especies en ambas áreas

de estudio, facilitando su acceso a recursos, alimentación o territorio, otro aspecto a considerar es la sincronización en la reproducción y la tasa de supervivencia de las crías.

Ramírez-Félix y Singh-Cabanilla (2003) argumentan que la abundancia de la jaiba puede experimentar variaciones drásticamente cada año, ya que son organismos de estrategia “r” que se caracterizan por producir una gran cantidad de organismos jóvenes, tener crecimiento acelerado, tener madurez sexual temprana, altas tasas de mortalidad y una duración de vida corta. La población de estas especies presenta grandes fluctuaciones considerables en su abundancia, debido a factores ambientales (físicos, químicos y biológicos). La época de mayor abundancia de jaibas, registrada por estos autores, ocurre en el verano para Oaxaca, Sinaloa y Sonora en los meses de junio-julio para *C. arcuatus*. En Ohuira, en 1999 la abundancia poblacional registrada de esta especie en un área de 7,000,000 m<sup>2</sup> fue de 16,100,000 organismos. Al igual que lo que mencionan estos autores, en el presente estudio en un área de 6,000 ha para la bahía de Topolobampo y 9,000 para la bahía de Ohuira se registró mayor abundancia de jaiba azul en junio, julio y agosto de 2023 que comprende los meses de verano. La posible explicación de porque ocurre esto en ambos lugares, es que la jaiba azul podría tener un ciclo de vida sincronizado en ambos sitios de estudio, con una mayor actividad reproductiva y abundancia de individuos maduros durante el periodo de junio a julio, y las condiciones ambientales podrían ser las adecuadas para la reproducción durante este periodo.

En el presente estudio, se presentó la mayor cantidad de hembras maduras en el mes de agosto con 80 hembras, mientras que en noviembre y junio no se reportaron hembras maduras (cero jaibas), lo cual puede atribuirse a que algunas especies de jaibas tienen ciclos reproductivos estacionales. La mayor cantidad de hembras maduras se presentó en agosto y esto puede estar relacionado a una mayor actividad reproductiva durante ese periodo influenciado por condiciones ambientales específicas como la temperatura del agua y la disponibilidad de alimento (Castañeda-Fernández, 2016).

### **10.3. Abundancia del parásito *O. californiana*.**

El parasitismo es uno de los puntos más importantes en el estudio de poblaciones y, en el caso de especies de importancia comercial, este conocimiento toma relevancia para especies de crustáceos, de los cuales, los más afectados son los decápodos, conocidos comúnmente

como jaibas. La preferencia por especie parasitada puede deberse a la densidad de la población, los organismos parasitados se encuentran relacionados con el periodo de muda, por ejemplo, o el periodo de desove en la especie que presenta migración a zonas con alta concentración de salinidad (Jiménez-Olivares *et al.*, 2018).

Verduzco-Chávez (2021) mostró que en la laguna El Colorado, Ahome, Sinaloa la abundancia total de organismos infestados por *O. californiana* para el género *Callinectes* fue de 255 jaibas y el total de no infestadas fue de 247. Para *C. arcuatus*, la abundancia total de jaibas infestadas fue de 179 hembras y de no infestadas de 118 organismos. Se observó que en *C. arcuatus* el número de jaibas infestadas fue mayor en todas las estaciones climáticas, excepto en otoño, siendo verano la estación climática con mayor número de organismos infestados con un total de 117 jaibas. Las hembras presentaron mayor infestación en verano con 29 organismos y no infestadas en otoño con dos jaibas. En el presente estudio, se registró la presencia de parásitos únicamente durante los meses de marzo, abril, agosto, septiembre y octubre de 2023. Un total de 123 hembras se registraron parasitadas, de las cuales 116 estaban en un estado maduro y siete en estado inmaduro. La mayor prevalencia de parásitos de *O. californiana* se presentó en agosto, con 52 jaibas parasitadas, y la menor en marzo con cinco, en junio con dos, en julio con uno y en octubre con cinco jaibas.

El grado de ocurrencia de los octolasmidos en una variedad de especies hospedadoras, se relaciona con la preferencia del cirrípedo y algunos factores como por ejemplo la disponibilidad y rasgos biológicos del hospedador, como el ancho de cefalotórax, el sexo y los periodos de muda y la madurez influyen en la infestación (Costa, 2016). En el presente estudio el parasito se presentó en los meses en que los hospedadores estaban en etapa de madurez que es cuando las características de la jaiba le proporcionan mayor espacio al balano pues suelen ser más grandes, aparte la frecuencia de las mudas disminuye significativamente lo que les asegura supervivencia a los balanos.

Cabe destacar que durante noviembre-diciembre de 2022 y enero-febrero de 2023, no se dio la presencia de hembras parasitadas. El número total de octolasmidos fue de 2,945, siendo septiembre el mes con la mayor abundancia, con un total de 1,436 organismos. La información sobre el número de parásitos encontrado a lo largo del estudio concuerda con los resultados obtenidos por Verduzco-Chávez en 2021 reporta un total de 1,656 parásitos en

las cámaras branquiales de las jaibas, siendo otoño, compuesto de agosto, septiembre y octubre, las estaciones climáticas con el mayor número de hembras parasitadas por este cirrípedo, además, encontró que *C. arcuatus* presentaba una mayor abundancia, en comparación con *C. bellicosus* durante su período de estudio. Sin embargo, difiere en cuanto a la estación climática en la que se registró el mayor número de *O. californiana* a lo largo de todo el periodo de estudio porque mientras que en su estudio fue en verano (mayo-junio-julio), en el presente estudio el mayor registro del balano se observó en otoño (agosto, septiembre y octubre).

Una posible explicación para las altas abundancias de octolasmidos radica en que el uso de los hospedadores por el balano puede estar relacionado con algunos rasgos biológicos del hospedador, por ejemplo, el tamaño del caparazón, la madurez y la etapa de muda. La probabilidad de infestación aumenta con el ancho de cefalotórax de la jaiba por lo que los infestados tienen más probabilidad de ser adultos (Costa, 2016).

La infestación también puede estar regulada por la fracción de las poblaciones de los hospederos, la disponibilidad espacial es un limitante para el éxito de los organismos sésiles, así como los periodos de muda ya que como se sabe, las jaibas de mayor edad y mayor tamaño mudan con menos frecuencia que los individuos pequeños, y por lo tanto, es aumenta la probabilidad de que estén infestadas debido a que los octolasmidos tienen más lugar y aparte es menos probable que sean desechados durante la muda (Costa, 2016).

Otro factor por lo que la infestación es diferente entre las lagunas El Colorado y Ohuira, es la profundidad a la que se encontraban las hembras de la jaiba, pues según Andrade *et al.*, en el 2013 y modificado por Costa en 2016, la presencia de los balanos es mayor en aguas profundas (donde las hembras son más frecuentes). Así que la diferencia en los sitios de muestreo, profundidad y los periodos de estudio influyen; por ejemplo, en El Colorado en verano se registró mayor abundancia de parásitos mientras que en el presente estudio en la Laguna de Ohuira fue en otoño, esto puede deberse a las variables ambientales de cada sitio como temperatura, salinidad, turbidez, etc. Otro punto importante es que los balanos tienen una baja especificidad con respecto al uso del huésped y se presentan en gran variedad de especies, lo que podría ser ventajoso en ciertos meses del año en los que se puede presentar mayor disponibilidad de huéspedes para los octolasmidos.

En el periodo de estudio, no se presentaron diferencias significativas entre hembras maduras parasitadas y no parasitadas ( $K-W_{(H)}= 2.1829$ ;  $p= 0.1395$ ); lo que se puede atribuir a que no se observen diferencias debido a que el nivel de infestación no llega a ser lo suficientemente alto como para marcar diferencias entre las variables que se están midiendo, la intensidad de infestación puede variar y, si es baja, las diferencias pueden no ser detectables estadísticamente.

#### **10.4. Prevalencia e intensidad de infestación.**

La colonización de epibiontes en comunidades de jaibas está influenciada por dos factores principales: el espacio disponible en los exoesqueletos de los artrópodos y la renovación periódica de los caparzones debido al proceso de muda. En estas comunidades, la ocupación de nuevos sustratos es crucial para garantizar la supervivencia (Levin y Paine, 1974; Connell y Keough, 1985).

Los cirrípedos pertenecientes al género *Octolasmis* son comunes en crustáceos decápodos en diversas partes del mundo, lo que puede provocar infestaciones en sus anfitriones y, en consecuencia, tener un efecto considerable en la dinámica poblacional de estos últimos. En este estudio de 431 organismos examinados, se encontraron 123 jaibas parasitadas, por lo que *C. arcuatus* registró una prevalencia del 27 % y una intensidad de infestación del 28.53 %. Estos valores fueron bajos, en comparación con lo reportado por Xiang *et al.* (2015) que evidenció que en un estudio que se llevó a cabo en China sobre la colonización de *Octolasmis* sobre *Portunus sanguinolentus* que todos fueron encontrados con el percebe *O. bullata* en sus cámaras branquiales, mostrando una prevalencia de colonización del 100%; sin embargo, solo 74 de estos cangrejos fueron colonizados por *O. warwickii*, por lo que mostró una prevalencia del 32%.

Khattab (2017) reportó en el cangrejo nadador azul *Portunus pelagicus* una prevalencia de infestación del 92 %, mientras que la intensidad de la infestación fue considerablemente menor, con un promedio de  $18.5 \pm 18.6$  cirrípedos por organismo. Sin embargo, el presente estudio mostró valores más altos que los reportados por Verduzco-Chávez (2021) para hembras de *C. arcuatus*, donde reportó una prevalencia de 10.87 %, con una intensidad de infestación de 2.27 cirrípedos/organismo. Por mes o estación climática, en el presente estudio

se observó el valor máximo de prevalencia en septiembre con un 95 % y el mínimo en julio con apenas el 1 %.

Es importante destacar que desde noviembre de 2022 hasta febrero de 2023 no se detectó presencia de hembras parasitadas. Para la intensidad de infestación, se evidenció un máximo de 100 % para el mes de julio de 2023 y un mínimo en octubre con solo el 1 %. Lo cual difiere con lo reportado por Verduzco-Chávez (2021), que mostró la mayor prevalencia en primavera (febrero, marzo, abril) con 27.38 % y una intensidad de infestación de 5.81 %.

En cuanto al grado de infestación en el presente estudio en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa se registró un medio alto grado de infestación (58-79 parásitos) en comparación con Verduzco-Chávez en 2021 que observó un grado de infestación alto (100- 126 parásitos) en El Colorado, Ahome, Sinaloa.

Estos diferentes resultados entre estudios pueden atribuirse a diferencias en la temperatura y la salinidad, ya que esto puede influir en el ciclo de vida y proliferación de *O. California*, las condiciones de nutrientes en el agua pueden variar y afectar la abundancia de organismos, la estacionalidad también juega un papel importante ya que las jaibas pueden migrar o cambiar de comportamiento según la estación del año, lo que puede exponerlas a diferentes niveles de infestación por parte de los cirrípedos. A las diferencias geográficas de las lagunas, se les puede atribuir que tengan diferentes ecosistemas, y que las jaibas y los cirrípedos interactúen de manera diferente. También la presencia de depredadores naturales y la competencia con otras especies puede variar y afectar a la intensidad de infestación.

#### **10.5. Estructura de tallas.**

En la laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa, la población de jaibas fue con organismos en su mayoría del intervalo ancho de cefalotórax de 7.4 a 9.4 cm; el ancho, largo de cefalotórax y peso total promedio de *C. arcuatus* fue menor a lo reportado por Diarte-Plata, 2016. Por ejemplo, en la Laguna El Colorado, Ahome, Sinaloa, Diarte-Plata, 2016 reportó organismos de 5 a 15 cm de ancho de cefalotórax y los intervalos de talla presentaron distribución unimodal, siendo la talla más frecuente la de 10 cm, presentándose en los meses de abril, julio, agosto, octubre, noviembre y febrero, es decir, en el verano e invierno.

Asimismo, Escamilla-Montes encontró organismos con tallas de 3 a 11 cm AC en El Conchalito de La Paz, B.C.S.; la distribución fue unimodal, 9 cm AC fue la talla más representativa, a pesar de que tiene un intervalo de 30 a 11 cm AC en las hembras. Arciniega-Flores y Mariscal-Romero en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco, encontraron que las hembras presentan un rango de tamaño de 3.35 a 10.95 cm AC. Por otro lado, las tallas máximas registradas en la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa, las especies de hembras están por debajo, lo cual resulta ser importante debido a que a nivel geográfico las poblaciones de la misma especie pueden presentar variaciones en tamaño y morfología; puede que los factores de temperatura, salinidad del agua y disponibilidad de alimento para el crecimiento de las jaibas varíen entre ubicaciones.

Por otro lado, la relación del ancho del cefalotórax en las hembras maduras e inmaduras de *C. arcuatus* indicó que el mayor promedio en las hembras maduras parasitadas, 8.6 cm, se registró en el mes de octubre de 2023. Para las hembras maduras no parasitadas, el mayor promedio fue de 9.24 cm; respecto a las hembras inmaduras parasitadas y no parasitadas, los mayores promedios se registraron en los meses de abril con 7.8 cm y en octubre con 7.4 cm, respectivamente. No se encontraron diferencias significativas entre hembras maduras parasitadas y no parasitadas. No obstante, se detectó diferencia si se compara hembras inmaduras parasitadas y no parasitadas.

De acuerdo con lo anterior, se había reportado que la presencia del parásito genera un efecto negativo sobre el desarrollo morfológico de las jaibas inmaduras, es decir, altera el crecimiento y desarrollo de la jaiba debido a que el parásito está consumiendo recursos del hospedero y estos dejan de ser utilizados para que la jaiba crezca de manera normal. La diferencia anterior indica que un efecto de los parásitos sobre el ancho de cefalotórax puede ser más pronunciado en las hembras inmaduras. Esto puede ser porque las hembras inmaduras están canalizando más energía y recursos en su crecimiento y, por lo tanto, son más vulnerables a los efectos negativos de los parásitos sobre su desarrollo morfológico. También puede indicar que los parásitos afectan el crecimiento desde etapas tempranas del desarrollo, lo cual puede tener implicaciones importantes en la supervivencia y éxito reproductivo de las jaibas a lo largo de su vida.

En cuanto al caso de largo de cefalotórax, se observa que el menor promedio en hembras maduras parasitadas es en agosto de 2023 con un valor de 4.8 cm; para las maduras no parasitadas en diciembre de 2022 con un valor de 4.8 cm. Mientras la mayor es en marzo de 2023 con 5.2 cm para inmaduras parasitadas; para las inmaduras no parasitadas, su máximo valor fue en enero de 2023 con un total de 5.8 cm. En la longitud de cefalotórax no hay una diferencia significativa entre hembras maduras parasitadas y no parasitadas. En el caso de las hembras inmaduras sí hay diferencia significativa.

Las diferencias significativas en la longitud de cefalotórax entre hembras inmaduras parasitadas y no parasitadas pueden indicar una diferencia en términos de la influencia del parasitismo en el desarrollo y crecimiento de las jaibas en etapas menos avanzadas de su ciclo vital. Es probable que el parasitismo tenga un efecto más fuerte en las jaibas inmaduras que en las hembras maduras, lo que puede impactar en diferencias en la longitud de cefalotórax entre uno y otro grupo. Mientras que no haber diferencias en la longitud de cefalotórax entre hembras maduras parasitadas y no parasitadas, podría ser atribuible a varias razones. Una de ellas es que el estado de desarrollo de las jaibas maduras sea menos influenciado por el parasitismo, razonando el caso de una menor influencia a causa de factores que puedan ajustar el efecto del parasitismo en estas jaibas.

En cuanto al peso total de los organismos, se observan los valores máximos promedios para hembras maduras parasitadas en julio de 2023, 69.67 g, y para hembras maduras no parasitadas en enero de 2023, 56.36 g. En el caso de las hembras inmaduras, se presentan los valores máximos de promedios en marzo de 2023 para parasitadas y en febrero de 2023 para no parasitadas con 81.4 g y 31.67 g, respectivamente. Las variaciones en el peso total pueden deberse a una serie de factores, incluida la edad o el ciclo reproductivo, las condiciones generales del estado de salud o bien el estado de parasitismo.

La prueba de estadística nos muestra que no hay diferencias significativas entre las hembras maduras parasitadas y no parasitadas,  $K-W(H) = 0.1822$ ,  $p = 0.6695$ , pero sí entre hembras inmaduras parasitadas y no parasitadas,  $K-W(H) = 2.087$ ,  $p = 0.1485$ . Los resultados de las pruebas de estadística se pueden atribuir a la variabilidad natural dentro de los grupos o a que el parasitismo tuvo un efecto discernible en las medidas analizadas solo en el caso de las hembras inmaduras. Por lo tanto, factores que probablemente serían compatibles con una

interpretación, tales como estado de la salud o la alimentación o las condiciones ambientales, influyen en las características morfológicas medidas y ocultan el efecto del parasitismo en este contexto para las hembras inmaduras.

#### **10.6. Relaciones morfométricas.**

El uso de análisis morfométricos para comparar hembras de jaiba azul *C. arcuatus* parasitadas con el cirrípedo *O. californiana* y hembras no parasitadas puede presentar varios resultados beneficiosos. Al comparar medidas morfológicas, como el ancho del cefalotórax, se puede identificar si la morfología de dos especímenes estudiados difiere significativamente. Esto podría revelar cambios en el tamaño que es posible identificar que están ligados al impacto del parásito. Además, estas comparaciones morfológicas también pueden ayudar a detectar un crecimiento y desarrollo rápido o lento, o un estado físico de un organismo, lo que también tendría importantes implicaciones en la dinámica de la población de especies. Por ejemplo, si el parásito afecta negativamente el crecimiento o el estado de salud de la jaiba, puede que logre afectar negativamente en su capacidad de reproducción y supervivencia (Guimaraes-Silva *et al.*, 2015).

En el presente estudio, al analizar la relación entre AC-LC de *C. arcuatus* en hembras parasitadas y no parasitadas, se observó que las hembras no parasitadas son ligeramente más grandes que las parasitadas. La ecuación que describe la relación PT-AC para las hembras parasitadas fue  $PT = 0.6952^{1.9918}$  con un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.5628$ , y la relación Peso total-Ancho de cefalotórax  $PT = 0.1376^{2.717}$  con  $R^2 = 0.8052$ . El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) indica que en hembras no parasitadas la relación entre ancho y largo es más fuerte.

Podemos atribuir el hecho de que las jaibas no parasitadas son ligeramente más grandes que las que si tienen parásitos a que existen algunos factores relacionados con el crecimiento y la salud de los hospedadores como que los octolasmidos pueden llegar a competir con su hospedador por nutrientes esenciales, lo que llega a afectar el crecimiento y la energía disponible para otros procesos biológicos (Costa, 2016).

La relación PT-AC para *C. arcuatus* para hembras parasitadas y no parasitadas, se ajustó a un modelo potencial en todas las muestras analizadas, donde las hembras no parasitadas tienen mayor peso ( $b = 2.717$ ) que las hembras parasitadas ( $b = 1.9918$ ) en tallas similares, de

acuerdo con la pendiente (b). Esta estimación de constante de regresión diferente de 1, sugiere que hembras de *C. arcuatus* parasitadas y no parasitadas tienen un crecimiento alométrico, lo cual coincide con lo reportado por Diarte-Plata (2016), en donde toda la población estudiada presentó un crecimiento alométrico negativo, lo que incluye por su puesto a las hembras, aunque en su caso no se estudió el parasitismo.

Las variables ambientales como la temperatura, salinidad, disponibilidad de alimento también juegan un papel muy importante en lo que respecta al crecimiento de las jaibas (Castillo, *et. al.*, 2011) y puede hacer menos evidente o amplificar los efectos del parasitismo, la combinación de todos los factores puede explicar por qué el crecimiento es alométrico negativo tanto en individuos parasitados como no parasitados (Costa, 2016).

Un crecimiento alométrico negativo para ambos casos (parasitadas y no parasitadas) puede estar relacionado con la necesidad de darle prioridad a otras funciones biológicas, como la movilidad, o la capacidad de enterrarse en el sustrato para protegerse de depredadores para el caso de las no parasitadas o en el caso de las hembras con parásitos darle prioridad a luchar contra el estrés, invertir energía en el mantenimiento o reproducción y tratar de adquirir la mayor cantidad de nutrientes sin que se desvíen a los parásitos.

#### **10.7. Madurez externa (forma del abdomen).**

Durante el período de noviembre de 2022 a febrero de 2023, se observaron los mayores porcentajes de organismos maduros no parasitados. Por otro lado, el mayor porcentaje de organismos parasitados con *O. californiana* se registró en septiembre de 2023, alcanzando un 95 %. Podemos relacionar estos resultados con que durante los meses fríos (noviembre a febrero) es posible que haya menos actividad metabólica lo que reduciría la parasitación, en cambio septiembre es un periodo de lluvias en Sinaloa lo que involucra un aumento en la salinidad y la temperatura, lo que son condiciones que pasan a favorecer el desarrollo y transmisión del parásito. Este hallazgo difiere de lo reportado por Diarte-Plata (2016), quien evidenció mayores porcentajes de organismos maduros de abril a diciembre de 2012 en La Laguna El Colorado, Sinaloa.

Por otro lado, los meses con la menor cantidad de organismos maduros sin la presencia del parásito fueron agosto, septiembre y octubre de 2023, con porcentajes del 40, 5 y 44 %, respectivamente, esto puede estar relacionado a factores tanto biológicos como ambientales

que influyen en el ciclo de vida y en la dinámica parasitaria; durante ciertos meses del año los organismos pueden estar en una etapa del ciclo reproductivo en la que no se favorece a la madurez en grandes cantidades lo puede depender ya sea de la disponibilidad de recursos, condiciones de la laguna (cambios en el ambiente, contaminación o alteraciones del hábitat) y factores internos en los que las jaibas priorizan el crecimiento o la supervivencia sobre la reproducción y por eso tardan en madurar. Este resultado también difiere de lo reportado por Diarte-Plata (2016), quien mostró que los meses con la menor cantidad de organismos maduros fueron abril de 2012, con 30 %, y enero de 2013, con 7 %.

La talla de primera madurez externa para las hembras de jaiba azul *C. arcuatus* que están parasitadas por el cirrípedo *O. californiana* fue de 8.5 cm de ancho del caparazón (AC), con un intervalo que va desde 4 hasta 13 cm. En contraste, para las hembras no parasitadas, la talla de primera madurez externa fue de 8.1 cm de ancho del caparazón, también con un intervalo de 4 a 13 cm; esta diferencia de tallas puede deberse a factores biológicos o ecológicos, las hembras con presencia de parásitos suelen invertir energía en luchar contra la carga del parásito, lo que llega a afectar el desarrollo. Por otro lado, las hembras no parasitadas pueden fácilmente destinar su energía al crecimiento y maduración reproductiva sin esta presión adicional.

Lo cual difiere con lo reportado por Diarte-Plata (2016), que observó que la talla de primera madurez para *C. arcuatus* fue de 8.62 cm de AC, con un intervalo de 4 a 13 cm. Los análisis estadísticos revelaron una diferencia significativa en la talla de primera madurez externa entre las hembras parasitadas y no parasitadas de *C. arcuatus* ( $F_{calculada} = 11.30$ ;  $F_{crítica} = 3.87$ ;  $p = 0.000089$ ), lo que puede atribuirse a la influencia del parásito en el desarrollo y crecimiento de las jaibas.

#### **10.8. Estadios de desarrollo gonadal macroscópica e histológica.**

Para describir los estadios de maduración gonádica de *C. arcuatus*, se utilizaron escalas macroscópicas basadas en los cambios de coloración y de la forma del abdomen, esto es un aspecto biológico importante para entender la estrategia reproductiva de esta especie y para plantear medidas de manejo pesquero. Las características macroscópicas del sistema reproductivo de hembras de jaiba azul (*C. arcuatus*) observadas en este estudio fueron similares a las reportadas por Diarte-Plata (2016).

En *C. arcuatus*, al igual que en otras especies de jaibas, tanto en hembras como en machos, las gónadas se encuentran en los conductos deferentes medios y se bifurcan en los conductos deferentes posteriores, formando una gónada en forma de H, se notan cambios en el color, textura y tamaño de las gónadas en ambos sexos, similares a los reportados en otras especies.

En el presente estudio, de acuerdo con las características físicas de la gónada (forma, tamaño, coloración y textura), así como con las características histológicas del desarrollo de los gametos y el ovario en hembras parasitadas y no parasitadas, se identificaron cuatro etapas de desarrollo gonádico para ambos casos (inmaduro o previtelogénico, desarrollo o etapa I de vitelogénesis, maduro o etapa II de vitelogénesis y desove), en los que el color de la gónada pasa de blanco/transparente a naranja intenso, lo que concuerda con lo reportado por Diarte-Plata (2016) en la Laguna El colorado, Ahome, Sinaloa y por Lorán *et al.* (1993) para *Callinectes* spp., un cambio de coloración de las gónadas, de traslúcidas a amarillo brillante.

Carvalho-Saucedo *et al.* (2015) evidenciaron las primeras etapas del desarrollo de los ovocitos, como la aparición de una vesícula perinuclear, que aparentemente se difunde en el citoplasma cuando el ovocito alcanza un desarrollo avanzado de la vitelogénesis. Otro resultado importante encontrado durante la ovogénesis, fue la presencia de diferentes nutrientes durante el desarrollo de los ovocitos. Esto comienza con la acumulación de gránulos de yema, aunque no realizaron ningún estudio bioquímico del contenido de yema, la evidente intensa decoloración que adquieren los ovocitos vitelogénicos, tanto en los organismos vivos (amarillo-naranja intenso) como en los cortes histológicos, podría ser evidencia de la presencia de carotenoides en los ovocitos. Otro aspecto para destacar fue la presencia de procesos atrésicos (en algunos casos avanzados) en las primeras etapas del desarrollo durante la ovogénesis. A diferencia de la resorción folicular, que ocurre como un proceso de eliminación de desechos gaméticos, después del período de desove, la atresia folicular en las primeras etapas de maduración puede ocurrir como consecuencia de un efecto externo (variables ambientales, deterioro nutricional por disminución de alimento, patógenos, etc.), también mencionan que es posible que el proceso de gametogénesis de *C. sapidus*, además de proporcionar los mecanismos endógenos necesarios para el desarrollo gamético, dependen de características ambientales (exógenas), que pueden incluso interrumpir el proceso de reproducción mediante atresia folicular. En el presente estudio, se

detectó atresia en ovocitos en etapa I de vitelogénesis en una gónada en estadio de desarrollo que se encontraba parasitada por el cirrípedo *O. californiana*.

Brown (2009) menciona que, durante el crecimiento primario, el ovocito es basófilo y las vesículas que contienen gotas de aceite se observaron como vesículas transparentes (es decir, vacías, debido al proceso de preparación del portaobjetos). En el núcleo de los ovocitos de crecimiento primario se observaron filamentos, los cuales, son indicativos de cromosomas en cepillo de lámpara y podrían significar que los ovocitos de crecimiento pre-primario han entrado en meiosis I detenida (detención meiótica en la profase 1). Las etapas de desarrollo continúan hasta el crecimiento secundario (vitelogénesis), cuyo inicio está representado por la formación de glóbulos vitelinos. Durante el crecimiento secundario, los ovocitos se vuelven más acidófilos y los glóbulos vitelinos aumentan en volumen y número. Los ovocitos adultos tienen un ooplasma líquido donde se han fusionado los glóbulos vitelinos.

En el estudio realizado en la Laguna Ohuira, tanto para hembras parasitadas como no parasitadas, se contó con la presencia de ovocitos basófilos en los primeros estadios de desarrollo, y con ovocitos con coloración acidófila a partir de la etapa I de vitelogénesis.

En cuanto a la caracterización de los estadios gonádicos mediante histología, se observaron diferencias entre hembras no parasitadas y parasitadas. En el estadio inmaduro de las hembras no parasitadas, se evidenció una zona de proliferación con 65% de ovocitos previtelogénicos (OP) con un tamaño promedio de  $27.69 \pm 10.64 \mu\text{m}$ . Por otro lado, en las hembras parasitadas, se observó un 95 % de ovocitos previtelogénicos con un tamaño promedio de  $33.24 \pm 10.43 \mu\text{m}$ . Estos resultados muestran que las hembras parasitadas tienen mayor tamaño y mayor porcentaje de ovocitos previtelogénicos y puede deberse a la interacción de factores biológicos y fisiológicos relacionados con la interacción que tiene el parásito con la jaiba, por ejemplo; los parásitos llegan a alterar el desarrollo gonadal lo que hace que las hembras produzcan más óvulos, lo cual puede considerarse una respuesta al parasitismo, como un intento por querer asegurar la reproducción, también puede que el hospedador destine energía a hacer los ovocitos de mayor tamaño con el fin de al menos intentar asegurar que algunos de sus descendientes tenga posibilidades de sobrevivir (Cordero del Capetillo, *et. al.*, 2007).

Diarte-Plata (2016), en la Laguna El Colorado, encontró 95 % de OP en el estadio inmaduro para hembras con un tamaño promedio de  $58.20 \pm 9.76 \mu\text{m}$ . Esto sugiere que, aunque en ambas lagunas los ovocitos previtelogénicos se encuentran en mayor proporción en el estadio inmaduro, en nuestro estudio son de menor tamaño, independientemente de si las jaibas están parasitadas o no. En este caso influyen las condiciones de cada laguna; las diferentes características del hábitat (temperatura, disponibilidad de nutrientes, o la salinidad) que pueden influir en el desarrollo gonadal y el tamaño de los ovocitos. Por ejemplo, las condiciones de la Laguna El Colorado se sugiere que son más favorables para el desarrollo de ovocitos ya que las hembras producen ovocitos de mayor tamaño que en la Laguna Ohuira. Aparte las diferentes poblaciones de jaibas, aunque ambas sean de la misma especie, pueden variar en su biología reproductiva y esto sucede por las adaptaciones locales que tiene cada grupo, los ciclos reproductivos diferentes o la edad de las jaibas entre ambos sitios de estudio también influyen, pues las jaibas jóvenes o de menor tamaño puede que produzcan ovocitos pequeños en comparación con las maduras o de mayor tamaño.

En el estadio de desarrollo de hembras, tanto parasitadas como no parasitadas, predominaron los ovocitos en etapa I de vitelogénesis (OV-I) en su mayoría (85%), con un tamaño promedio de  $60.43 \pm 7.5 \mu\text{m}$  y  $57.56 \pm 15.51 \mu\text{m}$ , respectivamente. Diarte-Plata (2016) observó 85 % de OV-I con tamaño promedio de  $304.07 \pm 88.24 \mu\text{m}$ . Aunque ambos estudios muestran un mayor porcentaje de ovocitos en etapa I de vitelogénesis, en nuestro estudio son de menor tamaño, sin importar si las jaibas están parasitadas o no. Sin embargo, en la Laguna Ohuira, el promedio de tamaño de los ovocitos en hembras parasitadas es ligeramente mayor que en las no parasitadas. Las diferencias entre lagunas se deben a que, aunque en ambos sitios alberga la misma especie, las poblaciones varían en cuanto a las adaptaciones locales y esto tiene influencia en el tamaño de los ovocitos. Las hembras parasitadas de la laguna Ohuira (presente estudio) puede que este respondiendo a las condiciones locales y al parásito de una manera que favorece la producción de ovocitos ligeramente más grandes.

En el estadio maduro o etapa II de vitelogénesis (OV-II), se observó 95 % de ovocitos con un promedio de  $118.74 \pm 20.45 \mu\text{m}$  en hembras no parasitadas, mientras que en hembras parasitadas se registró un promedio de  $130.58 \pm 20.92 \mu\text{m}$  para OV-II. Esto indica que las hembras parasitadas tienen un tamaño mayor que las no parasitadas. Por otro lado, Diarte-

Plata (2016) reportó 95 % de ovocitos en estadio II de vitelogénesis en la Laguna El Colorado, con un promedio de tamaño de  $618.6 \pm 183.21 \mu\text{m}$ . Es evidente la diferencia de tamaños de ovocitos del mismo estadio de desarrollo gonadal entre dos lagunas, lo cual puede deberse a una variedad de factores ambientales y biológicos que influyen en el crecimiento y desarrollo de las jaibas. Algunas posibles razones para que esto suceda podrían incluir diferencias en la disponibilidad y calidad de los recursos alimenticios, variaciones en las condiciones fisicoquímicas del agua, como la temperatura y la salinidad, así como la presencia de otros organismos o factores ambientales que podrían afectar el desarrollo de las jaibas.

En el estadio de desove en hembras no parasitadas se pueden apreciar algunos ovocitos en etapa II de vitelogénesis, con un promedio de  $22.66 \pm 5.52 \mu\text{m}$ ; en cuanto a las hembras parasitadas, de igual manera se observan algunos OV-II con un promedio de  $24 \pm 4.69 \mu\text{m}$ . Podemos observar que, en cuanto al tamaño de los ovocitos, en este estadio no difieren mucho al comparar las hembras parasitadas y las no parasitadas. Diarte-Plata (2016) observó el estadio OV-II de vitelogénesis con un promedio de  $158.12 \pm 30.67 \mu\text{m}$ . Al igual que en los otros estadios de desarrollo gonádico, podemos ver que en la Laguna El Colorado, Ahome, Sinaloa, el tamaño de los ovocitos es mayor en comparación con la Laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa, sin importar si en el presente estudio las jaibas están parasitadas.

En cuanto al estadio de posdesove, en el presente estudio no se contó con la presencia de organismos en este estadio de desarrollo gonadal, lo cual concuerda con Castañeda-Fernández *et al.* (2015), que describió cuatro estadios de desarrollo gonádico en escala morfocromática e histológica aparte de la hembra ovígera, que fue desde Inactivo (H1), gametogénesis inicial (H2), desarrollo (H3) y madurez (H4) para hembras de *C. bellicosus*. Sin embargo, difiere de lo reportado por Diarte-Plata (2016), que en su estudio encontró y describió cinco estadios de desarrollo gonádico (Inmaduro, Desarrollo, Maduro, Desove y Posdesove). En el posdesove, se observaron algunos ovocitos en etapa II de vitelogénesis (OV-II) con promedio de  $225.09 \pm 41.62 \mu\text{m}$ .

Diarte-Plata (2016) en la Laguna El Colorado, Ahome, Sinaloa reportó diferencias significativas entre los cinco estadios de desarrollo del ovocito, únicamente no presentaron diferencias significativas entre los estadios desove y posdesove en relación con los diámetros

de los estadios de desarrollo de los ovocitos (histología) de las jaibas *C. arcuatus* y *C. bellicosus*. En el presente estudio realizado en la Laguna de Ohuira, se observaron diferencias significativas en los diámetros de los estadios de desarrollo de los ovocitos (histología) en las jaibas *C. arcuatus*, en relación con la parasitación de hembras. Se encontraron diferencias significativas en dos estadios de desarrollo: para el estadio inmaduro ( $F= 25.6426$ ,  $p= 0.0000001$ ) y para el estadio maduro ( $F= 22.98$ ,  $p= 0.001$ ), estas diferencias pueden ser resultado de una combinación de factores biológicos y fisiológicos, como que la presencia de parásitos pueda desencadenar respuestas inmunes en las hembras, lo que podría tener efectos secundarios en su reproducción y desarrollo de ovocitos, o que los parásitos puedan interferir con el sistema hormonal de las jaibas, lo que, a su vez, podría alterar el proceso de desarrollo de los ovocitos.

Durante el período comprendido entre noviembre de 2022 y octubre de 2023, se observaron diferencias significativas en la relación entre hembras parasitadas y no parasitadas en cada estadio de desarrollo gonádico por mes. Específicamente, se destacaron diferencias significativas en los meses de abril ( $p= 0.000001$ ) y junio ( $p= 0.012188$ ) de 2023 para el estadio inmaduro. Además, marzo y abril de 2023 mostraron una diferencia significativa en el estadio maduro ( $p= 0.000003$  y  $p= 0.017077$ , respectivamente). Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en los meses restantes, con respecto a los estadios de desarrollo. Las diferencias observadas podrían estar relacionadas con el ciclo reproductivo natural de las hembras de jaiba, dependiendo del momento del año, las hembras pueden estar en diferentes etapas de desarrollo gonádico, lo que podría influir en su susceptibilidad a la parasitación y en la forma en que esta afecta su desarrollo gonádico, también es posible que la prevalencia de los parásitos varíe a lo largo del año, debido a factores ambientales como la temperatura del agua, la salinidad, etc. Estas variaciones estacionales podrían influir en la proporción de hembras parasitadas y no parasitadas en diferentes periodos o meses.

### **10.9. Ciclo reproductivo.**

Diarte-Plata (2016) analizó que las hembras de jaiba *C. arcuatus* de la laguna El Colorado, Ahome, Sinaloa, presentaban un proceso reproductivo complejo. Este autor describió las etapas en el desarrollo de las células reproductivas, lo cual corresponde a la etapa de vida y madurez en su ciclo reproductivo. Estos resultados coinciden con los observados en el

presente estudio realizado en la laguna de Ohuira, donde se encontraron hembras de jaiba azul, tanto parasitadas como no parasitadas, con características similares.

Se ha observado que las hembras almacenan el esperma del macho en un saco seminal después de la cópula. Por naturaleza, las hembras generalmente se aparean una sola vez, debido a que el esperma puede permanecer viable por hasta dos años. Esta capacidad les permite a las hembras fertilizar múltiples huevos y reproducirse en ciclos reproductivos posteriores, lo que les brinda la oportunidad de reproducirse hasta dos veces durante una estación de apareamiento (Palacios-Fest, 2002; Castro-Longoria *et al.*, 2003).

En las costas de Sinaloa, Salazar-Navarro *et al.* (2002) señalaron que no hay información respecto a la reproducción de *C. bellicosus*. Sin embargo, sus observaciones sugieren que el apareamiento tiene lugar cada vez que el macho monta a la hembra, la cual permanece con él entre siete días, esto desde julio hasta septiembre. La incubación de los huevos dura de dos a tres semanas, y del mes de octubre hasta enero ha sido observada una pausa en la actividad reproductiva. Perry (1975) describió las particularidades del ciclo reproductivo en hembras de cangrejo azul, tanto con ovarios en desarrollo como recién apareadas, a lo largo de la primavera, verano y otoño. Se constató la presencia de hembras con ovarios maduros en todas las estaciones del año.

Por otra parte, durante los meses de invierno, las hembras de cangrejo azul en la Bahía de Chesapeake, E.E.U.U. presentaron una detención de la vitelogénesis durante los meses de invierno. Al analizar la histología de los cangrejos recogidos en la misma área, los cangrejos azules no mostraron una expulsión durante el invierno en el desarrollo de los ovocitos en desarrollo (Johnson, 1980).

Brown (2009) reportó que, entre diciembre y marzo, se observó una mayor frecuencia de cangrejos azules de Tampa Bay, Florida, E.E.U.U. con ovocitos en la última etapa de crecimiento secundario, en comparación con otros momentos del año. De las nueve muestras recolectadas en diciembre, siete presentaban ovocitos vitelogénicos tardíos, una estaba en vitelogénesis media y otra era una hembra con esponja. Además, se detectaron ovocitos en la etapa tardía de vitelogénesis en muestras recolectadas durante julio, agosto y septiembre. En el período de abril a junio, la mayoría de las hembras mostraron ovocitos en crecimiento primario o en vitelogénesis temprana, y no se observaron ovocitos en la etapa tardía de

vitelogenesis en ninguno de los especímenes durante este tiempo. Castro-Longoria *et al.* (2003), en su estudio en las costas de Sonora, identificaron dos niveles máximos en el periodo de máxima madurez (Fases IV-V) de *C. bellicosus*, el primero ocurrió en marzo, con un 56% de madurez, mientras que el segundo punto máximo, que alcanza el 60%, se registró entre julio y septiembre, meses en los que se observa el mayor porcentaje de hembras maduras, como resultado, concluyen que la máxima actividad de maduración y reproducción de *C. bellicosus* ocurre entre agosto y septiembre.

Diarte-Plata (2016), en su investigación en la Laguna El Colorado, registró actividad gametogénica durante todo el periodo de estudio, desde marzo de 2012 hasta marzo de 2013. Se observaron periodos de desove más intensos entre septiembre de 2012 y marzo de 2013, destacando los meses de julio, agosto y de octubre de 2012 a enero de 2013, cuando más del 40% de los organismos estaban en etapa de madurez y desove. La fase de madurez abarcó desde marzo de 2012 hasta marzo de 2013, con un nivel máximo de organismos maduros entre julio de 2012 y enero de 2013, donde más del 40% estaban en esta etapa.

En el presente estudio realizado en la laguna Ohuira, Ahome, Sinaloa en hembras de jaiba azul *C. arcuatus* no parasitadas comprendido entre noviembre de 2022 y octubre de 2023, se realizó un análisis histológico que reveló actividad gametogénica constante a lo largo de todos los meses. Se observaron periodos de desove en junio y julio de 2023, siendo junio el mes de mayor intensidad con 50%, mientras que julio mostró solo 20%. Los meses más relevantes en términos de etapa de madurez y desove fueron de abril a octubre de 2023.

Estos resultados están relacionados con factores biológicos y ambientales, debido a que el periodo reproductivo de esta especie suele sincronizarse con las condiciones óptimas de temperatura, salinidad, disponibilidad de alimento, ya que estas variables influyen en el éxito reproductivo y en la supervivencia larval, es por eso que la mayor intensidad de desove coincide con temperaturas cálidas que es la que favorece al desarrollo de gametos, y además estos meses suelen presentar mayor cantidad de nutrientes y óptimas condiciones para el desarrollo de las larvas, debido a que las temperaturas cálidas ayudan con el crecimiento de fitoplancton lo que genera más alimento, así como también ayuda a la descomposición de la materia orgánica en los sedimentos que hace que se liberen nutrientes como nitratos y fosfatos al agua los cuales son aprovechados por productores primarios (López- Monroy,

*et.al.*, 2017), la temperatura también regula los procesos metabólicos y para el caso de larvas el ambiente moderadamente cálido mejora el crecimiento, desarrollo y supervivencia.

En el caso de las hembras de jaibas parasitadas con el cirrípedo *O. californiana*, la actividad gametogénica se empezó a observar en marzo, ya que en los meses anteriores del estudio no se registró presencia de jaibas con parásitos. Se observó la etapa de madurez en marzo, abril y septiembre de 2023 con 60% de organismos en esta etapa, el desove se presentó en el mes de octubre con 30 % de organismos. La actividad gametogénica de jaibas parasitadas puede variar dependiendo de los factores ambientales, biológicos y por su puesto de la influencia del parásito; el *O. californiana* se adhiere a las cámaras branquiales del crustáceo lo que afecta su capacidad respiratoria y energética pues no permite un intercambio gaseoso adecuado. Esto puede tener una influencia negativa en la capacidad de la jaiba para iniciar y mantener la gametogénesis, dependiendo de la época del año (en la que influirían las variables ambientales) y la carga parasitaria (entre más parásitos mayor obstrucción en las branquias). Los organismos parasitados tienen menos energía disponible para los procesos reproductivos como el desarrollo de gametos o el desove.

Castro-Longoria *et al.* (2003) y Diarte-Plata (2016) coinciden en encontrar valores máximos de madurez en los meses de julio y agosto. El presente estudio, se muestran patrones de actividad gametogénica y desoves similares a los encontrados por Diarte-Plata (2016). Lo cual puede atribuirse a que las lagunas de estos estudios tienen características similares; en las regiones templadas tropicales o subtropicales que es donde se encuentran los crustáceos estudiados, las condiciones ambientales pueden ser óptimas para el desarrollo reproductivo, pues sus temperaturas cálidas generan una mayor productividad primaria, lo que ofrece un entorno adecuado para la madurez gonadal.

En esta investigación compara hembras de *C. arcuatus* parasitadas contra las no parasitadas, en este caso ambas presentaron desove en algún punto del periodo de estudio, aunque en momentos diferentes, también se observaron periodos de madurez en ambas, aunque con variaciones en los meses específicos, lo que quiere decir que las hembras parasitadas y no parasitadas mostraron diferencias en los meses en los que alcanzaron ciertas etapas reproductivas, como la madurez y el desove. Por ejemplo, en el caso de las hembras no parasitadas, se observó que los meses más relevantes en términos de etapa de madurez y

desove fueron de abril a octubre de 2023, lo que sugiere un periodo más amplio de actividad reproductiva. En contraste, para las hembras parasitadas, la etapa de madurez se observó en marzo, abril y septiembre de 2023, con un porcentaje importante de organismos en esta etapa. Además, el desove se presentó únicamente en octubre de 2023. Esto indica que las hembras parasitadas concentraron su actividad reproductiva en un conjunto más reducido de meses y tuvieron un patrón reproductivo diferente en comparación con las hembras no parasitadas.

#### **10.10. Ciclo reproductivo y variables ambientales.**

Se detectó una relación entre las etapas reproductivas y la temperatura en hembras de jaiba azul no parasitadas. Se observó que conforme la temperatura aumentaba, se incrementaba la frecuencia de organismos en fase de madurez y desove, especialmente entre marzo y junio de 2023. Sin embargo, cuando la temperatura disminuía, predominaba la fase de madurez, aunque aún se observaban organismos inmaduros. Este patrón también se observó en el primer mes de muestreo, en noviembre de 2022.

En hembras parasitadas, se identificó una relación similar entre las etapas reproductivas y la temperatura. Durante los meses de marzo a junio de 2023, se observó un incremento en la frecuencia de organismos en fase de inmadurez y madurez a medida que la temperatura aumentaba. Sin embargo, a partir de agosto y hasta octubre de 2023, cuando la temperatura comenzaba a disminuir gradualmente, aumentaban los organismos en fase de desarrollo, madurez y desove. Aunque aún se observaban organismos inmaduros en octubre de 2023, su porcentaje era menor en comparación con los meses anteriores.

Al comparar hembras parasitadas y no parasitadas, se observan similitudes en el aumento de la frecuencia de organismos en etapas reproductivas específicas durante el aumento de temperatura entre marzo y junio de 2023. Sin embargo, las diferencias radican en que, en las hembras no parasitadas, predominaba la fase de madurez cuando la temperatura disminuía, mientras que, en las hembras parasitadas, la fase de madurez era más evidente durante el aumento de la temperatura, con una transición hacia organismos en fase de desarrollo, madurez y desove cuando la temperatura disminuía.

Las diferencias entre hembras parasitadas y no parasitadas pueden ser atribuibles a las posibles interacciones entre el parásito y el huésped, que podrían influir en la respuesta de las jaibas a factores ambientales y fisiológicos.

La temperatura ayuda a regular la síntesis de hormonas necesarias para la reproducción por lo cual es clave para la maduración de las gónadas en los crustáceos. Al aumentar la temperatura se obtiene una mayor actividad reproductiva, esto pasa especialmente en hembras parasitadas pues aprovechan las condiciones óptimas para compensar la limitada capacidad metabólica (Ren *et al.*, 2021). En cuanto al efecto del parásito, las hembras parasitadas concentran su actividad reproductiva en condiciones cálidas, pues es donde su metabolismo es más eficiente, mientras que las no parasitadas se reproducen en rangos más amplios de temperatura pues poseen mayor flexibilidad (Lützen *et al.*, 2018).

#### **10.11. Talla de primera madurez (considerando características histológicas de las gónadas en madurez, de las hembras parasitadas y no parasitadas).**

La talla de primera madurez es uno de los parámetros biológicos con más importancia y que tienen que ser considerados para las cuestiones ecológicas y de manejo pesquero, esto debido a que es una de las bases principales para establecer la talla de captura de los organismos (Caña-Hernández, 2019)

En el presente estudio tanto en el caso de hembras maduras parasitadas como no parasitadas está representado que las hembras alcanzan la madurez sexual a los 8.2 cm de AC, lo que quiere decir que en ambos casos el proceso de maduración ocurre de manera similar, ya sea que los organismos estén parasitados o no, sin embargo en cuanto al promedio de AC las hembras no parasitadas alcanzan la madurez a los 7.42 cm y las parasitadas a los 8.46 cm, lo que nos dice que las hembras sin la presencia del parásito maduran 1 cm más chicas que las que si están parasitadas (en cuanto a promedio) lo cual podría sugerir que el parásito afecta el tamaño en el que las jaibas alcanzar la madurez sexual, según Petriella y Boschi, (1997) existen antecedentes de que la presencia de parásitos puede interferir en el crecimiento de los crustáceos ya sea reduciéndolo o deteniéndolo completamente.

El ciclo de muda vincula muchos aspectos de la biología de los crustáceos incluyendo su morfología, fisiología y comportamiento (Álvarez, Véliz y Meruane, 2009)

Los procesos reproductivos tales como la maduración gonadal y vitelogénesis modifican el ciclo de muda de algunas especies de crustáceos, el crecimiento por muda depende de la edad de los individuos y de las condiciones ambientales como la temperatura que puede tener influencia sobre el metabolismo en general, la salinidad y la contaminación que en muchos

casos se ha detectado su influencia negativa para el crecimiento y supervivencia de los crustáceos (por acción de pesticidas, plaguicidas y otros compuestos químicos) la respuesta más común de los organismos es la inhibición de la ecdisis y el aumento de la duración gonadal (Petriella y Boschi, 1997).

Uno de los factores internos de los crustáceos decápodos que modifican la frecuencia de muda y quizá de los más importantes es la maduración sexual, ya que se ha comprobado que antes de la madurez el tiempo entre mudas sucesivas muestran mayor frecuencia y un crecimiento rápido, lo cual decrece conforme aumentan de edad (Petriella y Boschi, 1997).

La presencia del parásito en el organismo puede ocasionar estrés, lo cual afecta negativamente el crecimiento, debido a que las jaibas parasitadas priorizan la supervivencia (Licette, *et al.*, 2020). Los parásitos pueden llegar a alterar el ciclo de muda lo cual afecta el proceso de ecdisis que es de suma importancia para el aumento de tamaño de los organismos y para el avance en el desarrollo reproductivo, pueden interferir en la capacidad de la jaiba para invertir recursos o energía a la maduración sexual, lo que obliga al organismo con parásitos a alcanzar un mayor tamaño antes de invertir sus recursos o esfuerzo en la reproducción (Li, *et.al.*, 2015).

#### **10.12. Análisis bioquímico de tejido blanco (gónada) de hembras de *C. arcuatus*.**

Estudiar la composición bioquímica de las gónadas de la jaiba azul (*C. arcuatus*) no solo proporciona mayor detalle sobre la fisiología reproductiva de la especie, sino que también proporciona información importante sobre su estado de salud general. Los lípidos, proteínas y carbohidratos presentes en estas estructuras son fundamentales para el desarrollo y la reproducción, ya que sirven como fuentes de energía y nutrientes esenciales. Por lo tanto, conocer sobre la composición bioquímica de las gónadas nos permite comprender y evaluar la calidad de la dieta y el estado nutricional de estos organismos, además, los cambios en la composición bioquímica funcionan como indicadores del estrés experimentado por las jaibas (Vargas-Téllez, 2023).

Factores ambientales como la contaminación, las fluctuaciones en la temperatura del agua y la presión de pesca tienen influencia en la fisiología y la salud de las poblaciones de jaibas, y estos efectos se llegan a reflejar en la composición de sus gónadas. Por otro lado, el estudio de la composición bioquímica de las gónadas también proporciona información sobre el ciclo

de almacenamiento de energía en el metabolismo de la jaiba, lo que nos permite comprender mejor cómo se gestionan los recursos energéticos durante el desarrollo y la reproducción de la especie (Wei *et al.*, 2018).

En este estudio, se encontró que las hembras no parasitadas exhibieron un mayor promedio de lípidos en abril de 2023 ( $150.47 \pm 150.08$  mg/ml), posiblemente debido a una acumulación de reservas energéticas antes de eventos reproductivos como la maduración gonadal. Por otro lado, las hembras parasitadas mostraron un mayor promedio de lípidos en octubre de 2023 ( $73.86 \pm 18.66$  mg/ml), sugiriendo una capacidad reducida para acumular reservas energéticas, debido al impacto del parasitismo en su metabolismo (Ren *et al.*, 2023).

El hecho de que los mayores promedios de lípidos se dieran en abril para las jaibas no parasitadas y en octubre para las parasitadas, se puede explicar por las diferencias de como el parásito tiene un efecto negativo en la acumulación de reservas energéticas y su uso en la reproducción. En los organismos parasitados se altera la homeostasis energética lo que provoca la reducción de la capacidad del hospedador para acumular lípidos, pues desvía recursos para asegurar su propia supervivencia y reproducción. Por otro lado, los organismos que no están parasitados, tienen más energía disponible para almacenar reservas, especialmente antes de eventos como la maduración gonadal, lo cual puede explicar los picos en abril.

Estudios previos han demostrado que los parásitos si tiene un impacto en el metabolismo lipídico del hospedador en este caso la jaiba, al modificar mecanismos como la síntesis y el transporte de lípidos, lo que da como resultado, alteraciones en la acumulación de reservas energéticas (Haase *et al.*, 2023)

En cuanto a las proteínas, se encontró que las hembras no parasitadas tuvieron un mayor promedio en noviembre de 2022 ( $45.16 \pm 2.24$  mg/ml), posiblemente asociado con una mayor actividad reproductiva o de crecimiento. Por el contrario, las hembras parasitadas mostraron un mayor promedio en octubre de 2023 ( $16.93 \pm 3.25$  mg/ml). Ren *et al.* (2023) señalaron que esto podría indicar una disminución en la síntesis proteica, debido al estrés fisiológico causado por el parasitismo. Estos resultados pueden atribuirse a la alteración que causa el parásito en el metabolismo proteico. Estudios como el de Ren *et al.* (2023), nos dicen que el estrés fisiológico que se asocia con el parasitismo tiende a reducir la síntesis proteica, ya que

los recursos que tiene el hospedador son redirigidos hacia la supervivencia del parásito lo cual también limita la capacidad del hospedador para poder destinar proteínas hacia la reproducción.

Respecto a los carbohidratos, las hembras no parasitadas presentaron un mayor promedio en noviembre de 2022 ( $25.53 \pm 3.16$  mg/ml). Li *et al.* (2021) sugirieron una alta demanda energética durante la maduración gonadal. Por otro lado, las hembras parasitadas mostraron un nivel máximo en julio de 2023 ( $15.13 \pm 0.86$  mg/ml), posiblemente debido a una redistribución de energía hacia otras funciones fisiológicas en respuesta al estrés del parasitismo. Estos resultados se deben a las diferentes demandas energéticas que tiene cada caso (parasitadas y no parasitadas). Los carbohidratos son cruciales como fuentes de energía durante la maduración gonadal. Sin embargo, en organismos con parásitos el estrés que genera el parasitismo puede causar que la energía se llegue a redirigir hacia funciones básicas como respiración celular, digestión, mantenimiento de tejidos o a mecanismos de defensa.

Al comparar los tres macronutrientes y dividirlos según si las hembras están parasitadas o no, se puede apreciar que, en el caso de organismos no parasitados, se observan tres períodos con altos niveles de lípidos (febrero-marzo, abril-junio y agosto-septiembre de 2023). Durante estos periodos de alta concentración de lípidos, las proteínas y los carbohidratos tienden a mantenerse en niveles bajos, mientras que cuando la concentración de proteínas y carbohidratos aumenta, la de los lípidos tiende a disminuir notablemente.

En cuanto a las hembras parasitadas, se identifican tres cambios en cuanto a la concentración máxima de lípidos que fue en abril, julio y octubre de 2023. Además, se observan dos niveles de máxima concentración de proteínas (marzo y agosto de 2023), mientras que marzo, julio y septiembre de 2023 fueron los meses con mayor concentración de carbohidratos.

Estos resultados son respaldados por Wei *et al.* (2018), que en su estudio hablan sobre el balance y la regulación de los macronutrientes, ellos mencionan que los macronutrientes compiten por recursos metabólicos, por ejemplo, un aumento significativo en lípidos puede reducir la necesidad de movilización de glucógeno, y una síntesis intensa de proteínas puede aumentar la demanda de aminoácidos, reduciendo la necesidad inmediata de carbohidratos para energía. Ren *et al.* (2023) sugieren que los lípidos son más eficientes en términos de almacenamiento de energía, en comparación con carbohidratos y proteínas, por lo tanto,

podemos decir que las jaibas priorizan el almacenamiento de lípidos durante la preparación para la reproducción.

Wei *et al.* (2018) señalaron que la estacionalidad y el tipo de dieta influyen en la acumulación de macronutrientes. Las dietas ricas en lípidos incrementan las reservas lipídicas, mientras que las dietas ricas en proteínas favorecen la síntesis de proteínas necesarias para la reproducción. Li *et al.* (2021) indican que factores como la temperatura y la salinidad afectan la tasa metabólica, influenciando así el consumo y almacenamiento de macronutrientes. En ambientes con temperaturas más altas, el metabolismo se acelera, aumentando la demanda de energía. En jaibas parasitadas, la energía se almacena en forma de lípidos antes de la reproducción, lo cual optimiza la preparación para procesos que demandan energía como la maduración gonadal. Sin embargo, en organismos no parasitados, hay una menor eficiencia en el almacenamiento de lípidos, lo cual se debe al estrés metabólico y esto contrasta con los no parasitados. La dinámica específica va a depender de factores como la intensidad del parasitismo y la capacidad para adaptarse del hospedador.

En el estudio presente, en hembras no parasitadas se observó un aumento simultáneo en los niveles de lípidos y temperatura antes del periodo reproductivo. Durante este incremento, las concentraciones de proteínas y carbohidratos se mantuvieron bajas. Cuando los niveles de lípidos disminuyeron, las jaibas estaban en la fase de desove, lo cual coincide con lo reportado por Ren *et al.* (2023), quienes indicaron que los lípidos aumentan significativamente antes del periodo reproductivo para acumular suficiente energía destinada a la producción de huevos y espermatozoides. Estos niveles también aumentan durante periodos de alta disponibilidad de alimentos y disminuyen durante el desove, ya que los lípidos se utilizan para proporcionar energía y material estructural para los huevos.

El aumento en los niveles de proteínas y carbohidratos en la Laguna Ohuira, Ahome, ocurrió durante la fase de desarrollo de las jaibas, coincidiendo con temperaturas relativamente bajas. Esta disminución ocurrió durante la fase de desove, conforme a lo explicado por Ren *et al.* (2023), quienes afirman que las proteínas aumentan durante la vitelogénesis en las hembras para apoyar la producción de gametos, y luego disminuyen debido al gasto energético y la utilización de proteínas para la producción de gametos. Respecto a los carbohidratos, Li *et al.* (2021) mencionan que los niveles aumentan antes de actividades de alta energía, como el

desove y la muda, y disminuyen rápidamente durante estos procesos, debido a la demanda energética, lo cual coincide con los hallazgos de este estudio.

En el caso de las hembras parasitadas por el cirrípedo *O. californiana* en la laguna Ohuira, se observó un aumento en los niveles de lípidos durante la fase de madurez, coincidiendo con temperaturas entre 25 y 30 °C. Estos hallazgos son consistentes con los reportados previamente para hembras no parasitadas y confirmados por Ren *et al.* (2023). Sin embargo, difieren en cuanto a la disminución de los lípidos, que ocurrió durante la fase de inmadurez según los autores. Se observa una tendencia similar a la de las hembras no parasitadas, donde un aumento en los lípidos se acompaña de niveles bajos de proteínas y carbohidratos. No obstante, en hembras parasitadas, se nota un incremento en estos dos macronutrientes durante la fase de madurez, acorde con lo reportado por Li *et al.* (2021) y Ren *et al.* (2023). Los carbohidratos, por su parte, presentaron varios niveles de disminución durante la fase de inmadurez, desarrollo y antes del desove, mientras que las proteínas disminuyeron durante la fase de inmadurez y se mantuvieron constantes antes del desove.

## 11. CONCLUSIONES

- A lo largo del periodo de estudio de 431 organismos examinados, se identificaron 123 hembras de *Callinectes arcuatus* parasitadas por *O. californiana* en la Laguna Ohuira. La abundancia de hembras parasitadas mostró fluctuaciones mensuales, con un mayor número de organismos infestados durante los meses de temperaturas más cálidas, lo que sugiere una relación entre la temperatura y la presencia del parásito.
- La prevalencia de infestación por *O. californiana* en hembras de *C. arcuatus* fue del 27%, con una intensidad de infestación del 28.53%. Estos valores muestran una proporción moderada de hembras afectadas en la población, con una tendencia consistente a lo largo del periodo de estudio.
- El diámetro de los ovocitos en cada estadio de desarrollo gonadal de las hembras parasitadas presentó diferencias significativas en comparación a lo observado en las no parasitadas, especialmente en la etapa I de vitelogénesis donde, además, se observaron deformidades en los ovocitos. Esto sugiere que la infestación por *O. californiana* puede afectar negativamente el desarrollo ovárico y, potencialmente, la capacidad reproductiva de las hembras.
- La temperatura fue la variable ambiental más relevante en el ciclo reproductivo de *C. arcuatus*. En hembras no parasitadas, se observó un incremento en la madurez y el desove durante los meses más cálidos, de marzo a junio de 2023. En contraste, las hembras parasitadas presentaron patrones diferentes, con niveles de madurez en marzo, abril y septiembre, y un desove tardío en octubre, sugiriendo que la infestación altera el ciclo reproductivo y la respuesta fisiológica ante los cambios ambientales.
- Los perfiles bioquímicos de lípidos no mostraron diferencias significativas entre hembras parasitadas y no parasitadas. Sin embargo, la concentración de proteínas y carbohidratos fue significativamente menor en hembras parasitadas, lo que podría indicar un impacto del parásito en la movilización y uso de carbohidratos durante el ciclo reproductivo.

## 12. LITERATURA CITADA

- Aedo, G. y Arancibia, H. 2003. Estimating attraction areas and effective fishing areas for Chilean lemon crab (*Cancer porteri*) using traps. *Fisheries Research*, 60(2–3), 267–272.
- Álvarez, J. Véliz, C. y Meruane, J. 2009. Estados del ciclo de muda de la jaiba nadadora *Ovalipes trimaculatus* (de Haan, 1833) basados en observaciones de la morfología externa. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(1), 217–225.
- Andrew, T. Gannon Y, Michèle G. Wheatly. 1992. Efectos fisiológicos de un percebe branquial ectocomensal, *Octolasmis muelleri*, sobre el intercambio de gases en el cangrejo azul *Callinectes sapidus*, *Journal of Crustacean Biology*, 12(1), páginas 11-18.
- Arciniega-Flores, J. y Mariscal-Romero J. 2013. Estructura poblacional y crecimiento individual de *Callinectes arcuatus* en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco. *Ciencia Pesquera*, 21(1), 15–26.
- Arreola-Lizarraga, J.A. y L. G. Hernández-Moreno. 2007. Estructura de tallas y crecimiento de los cangrejos *Callinectes arcuatus* y *C. bellicosus* (Decapoda: Portunidae) en la laguna costera Las Guásimas, México. *Revista de Biología Tropical* 55 (1): 225-233.
- Arreola-Lizarraga, J.A., L. G. Hernández-Moreno, S. Hernández-Vázquez, J. Flores Verdugo, C. Lechuga Devezé y A. A. Ortega-Rubio. 2003. Ecology of *Callinectes arcuatus* and *C. bellicosus* (Decapoda; Portunidae) in a coastal lagoon of Northwest Mexico. *Crustaceana* 76 (6): 651-664.
- Baptista, C., M. A. et. al., 2005. Biología populacional e reproductiva de *Callinectes danae* Smith (Crustacea, Portunidae), no Belneário Shangri-lá, Pontal de Paraná, Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 22: 446-453. DOI: 10.1590/S0101-81752005000200022
- Branco, J. O. y S. Masunari. 2000. Reproductive ecology of the blue crab, *Callinectes danae* Smith, 1869 in the Conceição lagoon system, Santa Catarina Isle, Brazil. *Revista Brasileira de Biologia* 60: 17-27. DOI: 10.1590/S0034-71082000000100004

- Campa, A., Hernandez, N., De Philippis, R. y Asencio, F. 2002. Generation of superoxide anion and OD activity in haemocytes and muscle of American White shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as a response to  $\beta$ -glucan and sulphated polysaccharide. *Fish and Shellfish Immunology*, 12, 353-366.
- Carmona-Suárez, C. 2009. Swimming crab community ecology in an estuarine complex in western Venezuela (Decapoda, Portunidae). *Nauplius* 17(1): 19-27, 2009.
- Castillo, J., N. Eslava y L. W. González. 2011. Crecimiento del cangrejo *Callinectes danae* (Decapoda: Portunidae) de la Isla de Margarita, Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 59 (4): 1525-1535.
- Castro-Longoria, R., J. Ramos-Paredes, G. Montemayor-López, J. Jiménez-Rodríguez. 2003. Estudio de la Biología Reproductiva del Recurso Jaiba *Callinectes bellicosus*, de la Costa del Estado de Sonora. Informe Técnico de la Universidad de Sonora-Instituto Nacional de la Pesca. Hermosillo, México. 48P.
- Carvalho-Saucedo, L. 2015. Descripción histológica del desarrollo gonadal de las hembras y machos de *Callinectes sapidus* Ratbun, 1896 (Decápoda: Portunidae). *Ciencia Zoológica*, 32, 188–194.
- Castañeda-Fernández de Lara, F., et. al., 2015. Validación histológica de una escala morfocromática de maduración gonadal para la jaiba verde, *Callinectes bellicosus*. *Ciencia Pesquera*, 23, 43–52.
- Celis-Villalva, A. 2009. Balanos del género *Octolasmis* (Cirripedia: Thoracica:) como ectoparásito de cangrejos portunidos. Universidad Nacional Autónoma De México, Los Reyes Iztapalapa.
- Costa, T. A. et al. 2016. Infestación por el epibionte *Octolasmis lowei* en un conjunto de cangrejos portunidos de una costa subtropical. *Revista de la Sociedade de crustáceos brasileiros*, 24, 1–8.
- Cruz Pérez, J. J. 2017. fecundidad y desarrollo embrionario de *Callinectes arcuatus* (Ordway, 1863) y *C. bellicosus* (Stimpson, 1859) (Decapoda: Brachyura: Portunidae), en el sistema lagunar mar muerto, paredón, Chiapas. Universidad de

ciencias y artes de Chiapas instituto de ciencias biológicas centro de investigaciones costeras.

- Day, J. W., Hall, C. A. S., Kemp, W. M., & Yáñez-Arancibia, A. 1989. *Estuarine Ecology* (Vol. 9). John Wiley & Sons.
- DeVries, M. C., R. A. Tankersley, R. B. Forward, W. W. Kirby-Smith, y R. A. Luettich. 1994. Abundance of estuarine crab larvae is associated with tidal hydrologic variables. *Marine Biology* 118, 403-413.
- Diarte-Plata, G. 2016. Aspectos poblacionales de las jaibas del género *Callinectes* (Decapoda: Portunidae) en La Laguna El Colorado, Ahome, Sinaloa, México. Universidad Autónoma De Baja California Sur, La Paz, B. C. S, México.
- Díez-Pérez, J. F. y G. Ramírez. 1976. Estudio de las bahías de Ohuira y Topolobampo mediante Landsat. Congreso Nacional de Fotometría, Fotointerpretación y Geodesia. Secretaria de Recursos Hidráulicos. México.
- Escamilla-Montes, R. 1998. López, H. A. G. 2009. Aspectos ecológicos, biológicos y pesqueros de las jaibas (*Callinectes sp*) en el sistema lagunar Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, México. Universidad Autónoma De Nayarit. Instituto Politécnico Nacional.
- Escamilla-Montes, R. *et. al.* 2020. Patrones de crecimiento y proporción de sexos de la jaiba *Callinectes bellicosus* (Decapoda: Portunidae). *Hidrob*, 28(3).
- E-Brown, C. 2009. Morfología, oogénesis y cambios ováricos a lo largo del ciclo reproductivo anual del Cangrejo Azul Hembra, *Callinectes sapidus* Rathbun, en la Bahía de Tampa. Universidad del Sur de Florida.
- Falkowski, P. G., & Raven, J. A. 2013. Aquatic photosynthesis (2nd ed.). Princeton University Press.
- Ghiretti-Magaldi, A., Milanese, C., Tognon, G., 1977. Hemotopoiesis in crustaceans decapoda: origin and evolution of hemocytes and cyanocytes of *Carcinus maenus*. *Cell Differ.* 6, 167–186.

- Gil-López, H. A. 2009. Aspectos ecológicos, biológicos y pesqueros de las jaibas (*Callinectes sp*) en el sistema lagunar Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, México. Universidad Autónoma de Nayarit.
- González-Ramírez, P. G., F. García-Domínguez y E. Félix-Pico. 1990. Estudio biológico pesquero de las jaibas *Callinectes bellicosus* Stimpson y *C. arcuatus* Ordway de Bahía Magdalena, B.C.S. Informe de Proyecto CONACyT. Ref.: P220CCOR 881063. 7P.
- Hartnoll, R. G. 2017. Growth, sexual maturity and reproductive output. In *Crustacean issues* 3 (pp. 101-128). Routledge.
- Hernández, L. y Alfredo Arreola Lizárraga, J. 2003. Estructura de tallas y crecimiento de los cangrejos *Callinectes arcuatus* y *C. bellicosus* (Decapoda: Portunidae) en la laguna costera Las Guásimas, México. *Revista de biología tropical*, 55(1).
- Hernández-Moreno, L. G. 2000. Aspectos sobre la ecología y biología de las jaibas *Callinectes arcuatus* y *C. bellicosus* (Crustacea: Portunidae) en la laguna costera Las Guasimas, Sonora, México. Centro De Investigaciones Biológicas Del Noroeste. S.C., La Paz, B.C.S.
- Jeffries, W.B., Voris, H.K., Poovachiranon, S. y Heil, L.C. 1995, The life cycle stages of the Lepadomorph barnacle, *Octolasmis cor*, and methods for their laboratory culture, Phuket Marine Biological Center Research Bulletin, 60: 29-35.
- Jiménez-Olivares, C. 2021. Problemas provocados por la infestación del parásito rizocéfalo en poblaciones de jaibas en el estado de Tabasco. XVII Encuentro; Participación de La Mujer En La Ciencia.
- Johansson, M. W., & Söderhäll, K. 1989. A cell adhesion factor from crayfish haemocytes has degranulating activity towards crayfish granular cells. *Insect Biochemistry*, 19(2), 183–190. [https://doi.org/10.1016/0020-1790\(89\)90090-5](https://doi.org/10.1016/0020-1790(89)90090-5)
- Johansson, M. W., Keyser, P., Sritunyalucksana, K., & Söderhäll, K. 2000. Crustacean haemocytes and haematopoiesis. *Aquaculture (Amsterdam, Netherlands)*, 191(1–3), 45–52. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(00\)00418-x](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(00)00418-x)

- Labastida-Che y Núñez Orozco, 2015. Parámetros biológicos de *Callinectes arcuatus* y *Callinectes bellicosus* en el sistema lagunar Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, México. *Ciencia pesquera*, 23, 27–34.
- Li, W. F. 2021. Vital Carbohydrate and Lipid Metabolites in Serum Involved in Energy Metabolism during Pubertal Molt of Mud Crab (*Scylla paramamosain*). *Metabolites*, 11(10), 651.
- Licette, K. A. et al. 2020. Population structure of the blue crab *Callinectes sapidus* in the Maryland Coast Albays. *Journal of Shellfish Research*, 39(3), 699–713.
- Lorenzana-Moguel, J., G. Rivera-Velázquez, M. A. Peralta-Meixueiro, F. E. Penagos García. 2012. La pesquería de jaiba (Crustacea: Decapoda: Portunidae: *Callinectes* spp.), en el Sistema Lagunar Mar Muerto, Arriaga, Chiapas, México. *Lacandonia* 6 (1): 77-84.
- Lorán, N, Valdez, A y Escudero, F. 1993. Algunos aspectos poblacionales de las jaibas *Callinectes* spp. en la Laguna de Alvarado, Veracruz. *Ciencia Pesquera* 10: 15–31.
- Lützen, J. Jensen, K. H. y Glenner, H. 2018. Historia de vida de *Sacculina carcini* Thompson, 1836 (Cirripedia: Rhizocephala: Sacculinidae) y el ciclo de intermuda de su huésped, el cangrejo de orilla *Carcinus maenas* (Linnaeus, 1758) (Decapoda: Brachyura: Carcinidae). *Revista de Biología de Crustáceos*, 38(4), 413–419.
- Marques-Golodne. P., M. C. Ostrovski-Matos y M. Vianna. 2010. On the population structure of *Callinectes danae* and *Callinectes ornatus* (Decapoda, Portunidae), in Guanabara Bay, Rio de Janeiro State, Brazil. *Atlântica, Rio Grande* 32 (2): 151 161
- Navarro-García, P. 2021. Diferentes estadios de desarrollo de *Callinectes sapidus* en las golas de la Albufera de Valencia. Universidad Politecnica de Valencia.
- Ortega-Lizarraga, G. B. et al. 2016. Crecimiento individual y longitud de primera madurez de *Callinectes arcuatus* en Marismas Nacionales, Nayarit, México. *Ciencia Pesquera*, 24(2), 3–11.
- Ortiz-León, H. J. et. al. 2007. Distribución espacial y temporal del cangrejo *Callinectes sapidus* (Decapoda: Portunidae) en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical* 55 (1): 235-245.

- Palacios-Fest, M. R. 2002. La Jaiba: Biología y Manejo. Primera Edición. AGT Editor, S. A. México, D. F. 152P.
- Pascual-Jiménez, C. 2004. Adaptaciones fisiológicas de los animales acuáticos (principalmente los peces y crustáceos) frente a los estresores físicos, químicos, geológicos y biológicos en sistemas marinos y dulceacuícolas. Ensayo del examen predoctoral. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 38P.
- Persson, M., Cerenius, L., Soderhall, K., 1987. The influence of the freshwater crayfish *Pacifastacus leniusculus* Dana, to the parasitic fungus *Aphanomyces astaci*. *J. Fish Dis.* 10, 471–477.
- Petriella, A.M. y Boschi, E.E. 1997. Crecimiento en crustáceos decápodos: resultados de investigaciones realizadas en Argentina. *Investig. Mar.* 25, 135–157. <https://doi.org/10.4067/S0717-71781997002500010>.
- Ramírez-Félix, E. *et al.* 2003. La pesquería de jaiba (*Callinectes* spp.) en el pacífico mexicano: Diagnóstico y propuesta de regulación. *ResearchGate*.
- Ramos-Cruz, S. 2008. Estructura y parámetros poblacionales de *Callinectes arcuatus* Ordway, 1863 (Decapoda: Portunidae), en el sistema lagunar La Joya Buenavista, Chiapas, México. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 3 (3): 259-268
- Reddy Ramachandra, 2019. Endocrinology of Reproduction in Crustaceans. 10.5772/intechopen.83018.
- Ren, Y. *et al.*, 2023. Comparative Transcriptome Analysis Identifies MAPK Signaling Pathway Associated with Regulating Ovarian Lipid Metabolism during Vitellogenesis in the Mud Crab, *Scylla paramamosain*. *Fishes*, 8(3), 145.
- Robert Tenia *et.al.*, 2016. parasitismo y epibiosis en *Callinectes ornatus* Ordway, 1863 (crustacea: portunidae) en aguas al suro este de la bahía de Porlamar, isla de margarita, Venezuela. *SciELO*, 28(2).
- Rodríguez-González, H. 2006. Efecto del nivel de inclusión de proteínas y lípidos en la dieta para reproductoras de langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus*, en relación a

la calidad del huevo y del juvenil. Centro de Investigaciones Biológicas del CRIP Guaymas, Son. Noroeste, S.C.

Rosa, R., & Nunes, M. L. 2003. Biochemical composition of deep-sea decapod crustaceans with two different benthic life strategies off the Portuguese south coast. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 50(1), 119-130.

Salazar-Navarro, I., V. Macías-Sánchez y A. Ramos-González. 2002. Estudio biológico pesquero para el manejo sustentable de la pesquería de jaiba *Callinectes bellicosus* (Stimpson, 1859) y *C. arcuatus* (Ordway, 1863) en las bahías de: Topolobampo, Navachiste, Santa María la Reforma, ensenada del Pabellón Altata y Ceuta en las costas de Sinaloa, México. Periodo: enero de 1999 a diciembre del 2001.

Salazar-Navarro, I. V. Macías-Sánchez, A. Ramos-González. 2002. Estado que Guarda la pesquería de jaiba *Callinectes* spp. En las Bahías de Topolobampo y Navachiste, Sinaloa, Periodo Febrero a octubre de 1999. En: Manejo de Recursos Pesqueros. Reunión Temática Nacional. Morán-Ángulo, R. E, M. T. Bravo-Mercado, S. Santos-Guzmán y J. R. Ramírez-Zavala (Eds.). Universidad Autónoma de Sinaloa, México. 463 pp.

SEMARNAT. 2019. “Operación y mantenimiento de una granja acuícola productora de camarón blanco, ubicada en la Bahía de Ohuira, Municipio de Ahome, Estado de Sinaloa”.

Smith, V. J., & Söderhäll, K. 1991. A comparison of phenoloxidase activity in the blood of marine invertebrates. *Developmental and Comparative Immunology*, 15(4), 251–261. [https://doi.org/10.1016/0145-305x\(91\)90018-t](https://doi.org/10.1016/0145-305x(91)90018-t)

Song, Y.L. y Hsieh, Y.T. 1994. Immunoestimulation of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) hemocytes for generation of microbiocidal substances: analysis of reactive oxygen species. *Developmental & Comparative Immunology*. 18: 201- 209.

Söderhäll, K., & Cerenius, L. 1992. Crustacean immunity. *Annual Review of Fish Diseases*, 2, 3–23. [https://doi.org/10.1016/0959-8030\(92\)90053-z](https://doi.org/10.1016/0959-8030(92)90053-z)

- Söderhäll, K., & Cerenius, L. 1998. Role of the prophenoloxidase-activating system in invertebrate immunity. *Current Opinion in Immunology*, 10(1), 23–28. [https://doi.org/10.1016/s0952-7915\(98\)80026-5](https://doi.org/10.1016/s0952-7915(98)80026-5)
- Söderhäll, K., & Smith, V. J. 1983. Separation of the haemocyte populations of *Carcinus maenas* and other marine decapods, and prophenoloxidase distribution. *Developmental and Comparative Immunology*, 7(2), 229–239. [https://doi.org/10.1016/0145-305x\(83\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0145-305x(83)90004-6)
- Vargas-Albores, F., Guzmán, M. A., & Ochoa, J. L. 1993. An anticoagulant solution for haemolymph collection and prophenoloxidase studies of penaeid shrimp 104 (*Penaeus californiensis*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 106(2), 299-303.
- Vargas-Téllez, I. (2023). Efecto de la ablación unilateral en el comportamiento, sistema inmune y bioquímica en reproductores de la jaiba azul *Callinectes arcuatus* (Ordway, 1863) en condiciones de laboratorio. Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Verduzco-Chávez, J. R. 2021. Identificación y evaluación de aspectos bio-ecológicos de *Octolasmis californiana* (Newman, 1960) en la interacción con las jaibas del género *Callinectes* en la laguna El Colorado, Ahome, Sinaloa. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario De Investigación Para El Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa, Guasave, Sinaloa; México.
- Vega-Moro, H. I. 2001. Distribución y abundancia de los cangrejos (Decapodos: Portunidae y Diogenidae) en el complejo lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas. Reporte de Servicio Social. Departamento de Hidrobiología-Iztapalapa. Universidad Autónoma Metropolitana. 32P.
- Vinay, V. J. C. *et. al.* 2019. Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo rural, Transferencia de tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos naturales y Cambio climático. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TecNM. Medellín, Ver., México. Año 3, 1, 2488 p

- Walker, G. 1974. The occurrence, distribution and attachment of the pedunculate barnacle *Octolasmis mulleri* (Coker) on the gills of crabs, particularly the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. *The Biological Bulletin*, 147(3): 678–689.
- Wei, B. Yang, Z. Cheng, Y. Zhou, J. Yang, H. Largo, Z. y Yang, X. 2018. Análisis proteómico de la hepatopáncreas de cangrejos chinos (*Eriocheir sinensis*) alimentados con una dieta de ácido linoleico o ácido  $\alpha$ -linolénico. *Frente. Physiol.* 9:1430. doi: 10.3389/fphys.2018.01430
- Heng-Xiang Li, Li-Sha Ma, Xiu-Juan Yu, Lu Li, Chang-Ping Yang, Yan Yan. 2015. colonización de octolasmis (cirripedia) sobre el cangrejo *Portunus sanguinolentus* (brachyura: portunidae): impactos del parasitismo de *Diplothylacus sinensis* (cirripedios: rizocefalas). *Revista de Biología de Crustáceos*, 35(2), 159–165.
- Zar, J. H. 2010. Biostatistical analysis. Prentice Hall, New Jersey: Prentice Hall. 662P.