



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y
OCEANOGRÁFICAS**



**“Análisis reproductivo y morfométrico de *Allopetrolisthes punctatus*
en la zona rocosa de Punta Los Lunes, Región de Valparaíso, Chile”.**

Kriss Darling Cabezas Rivas

**Informe de habilitación profesional presentado al
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA
DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**

**Para optar al Título de
BIÓLOGA MARINA**

Concepción- Chile

2025.

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA

Esta habilitación profesional ha sido realizada en el Departamento de
Oceanografía de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas.

Profesor Guía

Dr. Fabián Tapia Jorquera

Ha sido aprobada por la
siguiente Comisión Evaluadora

Dr. Simone Baldanzi

Dr. Ramiro Riquelme

Jefe de Carrera

Dr. Ariel Valenzuela Saldias

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Centro de Investigación COPAS COASTAL de la Universidad de Concepción por financiar este estudio, así como a la Estación de Investigaciones Marinas (ECIM) de la Pontificia Universidad Católica de Chile, ubicada en Las Cruces, Región de Valparaíso, por brindarme el espacio y las condiciones necesarias para llevar a cabo mi investigación.

Agradezco especialmente al Doctor Sergio Navarrete por su supervisión y respaldo durante mi estadía en ECIM, asegurándose de que mi trabajo se desarrollara de manera segura y sin inconvenientes. También extendiendo mi gratitud a su equipo, quienes me acogieron con generosidad e incluyeron en diversas actividades, brindándome una valiosa experiencia de colaboración y permitiéndome utilizar el laboratorio cuando lo necesité. Su apoyo y buena disposición hicieron mi estancia aún más enriquecedora, por lo que quiero agradecer particularmente a Walter Troncoso, Andrés Gonzalez, Mirtala Parragué y Daniel Valencia.

Asimismo, agradezco al Doctor Alejandro Pérez Matus, director del Centro NUTME, por permitirme asistir a terreno, lo que me brindo la oportunidad de participar en el trabajo de campo y obtener mis muestras. También quiero reconocer el apoyo de Pierina Rojas, Glenda Llanos y Katherine Piña cuyo apoyo emocional fue invaluable en este proceso.

Extendiendo mi gratitud al personal de ECIM, quienes siempre fueron amables y estuvieron dispuestos a ayudarme, asegurando que todo marchara bien con mis acuarios. Además, quiero reconocer a las amigas y amigos que hice durante el mes y medio en que me alojé en las Cruces, quienes hicieron de esta experiencia algo aún más especial, compartiendo conmigo tanto en los momentos de alegría como en los más difíciles: Valentina Galaz, Sofia Chacano, Eloísa Garrido, Paola Espinosa, Matías Escobar y Camila Montt.

A mi Profesor guía, el Doctor Fabian Tapia, por su constante apoyo y orientación a lo largo de estos casi tres años, así como por su paciencia inagotable y guía en el desarrollo de esta investigación. También agradezco a mi comisión evaluadora, en particular a Simone Baldanzi, por sus valiosas observaciones y comentarios, y a Ramiro Riquelme por su apoyo en este proceso.

Quiero agradecer a mi pareja, Rodrigo Fuentes Gonzalez, quien ha sido mi roca en todo este proceso, brindándome su amor incondicional, su apoyo en cada desafío y recordándome, incluso en los momentos más difíciles, porque vale la pena seguir adelante.

Finalmente, a mis amigos incondicionales Tavaré Alfaro, Patricio Cabrera y Celeste Parra por acompañarme en este último tramo, en el que la mente se llena de pensamientos y el proceso de terminar y entregar el escrito se vuelve desafiante. Su compañía y apoyo han sido invaluable.

Y, por supuesto, a mi perrita y mis dos gatitas, mis fieles compañeras de desvelos, que con sus travesuras y ronroneos me enseñaron que el amor también se expresa en forma de patitas inquietas, siestas sobre mis apuntes y maullidos a medianoche. Gracias por recordarme que siempre hay espacio para una caricia en medios del caos y que, al final del día, el hogar esta donde está mi familia de cinco.

Índices de Contenidos

Índices de Tablas	7
Índices de figuras	8
Resumen	12
Abstract	14
Introducción	16
Objetivo general.....	20
Objetivos específicos.....	20
Materiales y métodos.....	21
Recolección de ejemplares.....	21
Comportamientos sociales y reproductivos de <i>A. punctatus</i>	22
Determinación del sexo de los ejemplares.....	23
Mediciones morfométricas.....	23
Evaluación de fecundidad y descripción de desarrollo embrionario.	24
Recolección y descripción larval.	24
Análisis de datos	25
Correlación morfométrica	25
Análisis de componentes principales (PCA).....	25
Análisis de fecundidad a la talla.....	25
Resultados	26
Comportamientos sociales y reproductivos de <i>Allopetrolisthes punctatus</i>	26
Presencia de algas incrustantes en <i>A. punctatus</i>	28
Determinación del sexo de los ejemplares.....	29
Forma de telson	29
Forma y estructura de abdomen	30
Patrón de coloración en machos y hembras	31
Proporción sexual.	32
Mediciones morfométricas.....	32
Correlación entre variables morfométricas.	35

Análisis de componentes principales (PCA).....	37
Evaluación de fecundidad y descripción de desarrollo embrionario.	40
Descripción de las etapas del desarrollo embrionario	42
Cultivo larval preliminar.....	45
Descripción morfológica de estadios larvales.	46
Discusión.....	51
Comportamiento social y reproductivo.....	51
Dimorfismo sexual y morfometría.....	52
Fecundidad y variabilidad entre localidades.....	53
Fecundidad de <i>A. punctatus</i> en Punta Los Lunes vs Chome.	55
Conclusiones.....	60
Referencias bibliográficas.....	62

Índices de Tablas

Tabla 1: Matriz de correlación de variables morfométricas de machos.....	36
Tabla 2: Matriz de correlación de variables morfométricas de hembras.....	36
Tabla 3: Coeficientes obtenidos en el análisis de componentes principales (PCA) para los machos de <i>Allopetrolisthes punctatus</i> , considerando las mediciones del cefalotórax y el abdomen.....	37
Tabla 4: Coeficientes obtenidos en el análisis de componentes principales (PCA) para las hembras de <i>Allopetrolisthes punctatus</i> , considerando las mediciones del cefalotórax y el abdomen.....	38
Tabla 5: Comparación del primer (PC1) y segundo (PC2) componente principal.....	39

Índices de figuras

- Figura 1:** Ubicación de la zona de muestreo en Punta Los Lunes, comuna de Puchuncaví, región de Valparaíso, Chile. Zona rocosa costera donde se realizó la recolección de ejemplares de *Allopetrolisthes punctatus*.....21
- Figura 2:** Acuario principal del sistema de cultivo con ejemplares de *Allopetrolisthes punctatus* mantenidos en condiciones controladas de laboratorio en ECIM. Los organismos se alojaron en acuarios con sustrato de arena, rocas y algas para observar su comportamiento en un entorno que simula su hábitat natural.....23
- Figura 3:** Formación de agregaciones en *A. punctatus*. Se observa la disposición apilada de los individuos y la tendencia de las hembras ovígeras a ocupar las posiciones inferiores dentro del grupo.....26
- Figura 4:** Ejemplo de interacciones agresivas entre machos de *A. punctatus*. A la izquierda, un individuo con pérdida de un quelípodo como resultado de la lucha con otro macho. A la derecha, evidencia de canibalismo entre machos, donde un individuo está siendo depredado por otro.....27
- Figura 5:** Hembra ovígera con masa de huevos adherida a sus pleópodos. Se observa la presencia de unos pocos huevos de mayor tamaño y de coloración más claro en la parte superior de la masa de huevos.....27
- Figura 6:** Juveniles donde en A) se muestra la vista dorsal de un ejemplar macho con un ancho de cefalotórax de 11.8 mm, en B) su vista ventral, y en C) un macho con un ancho de cefalotórax de 6.35 mm. En D) se presentan seis de los nueve juveniles observados; el primero corresponde al ejemplar de la imagen A, y el tercero al ejemplar de la imagen C28
- Figura 7:** Ejemplares de *Allopetrolisthes punctatus* con algas incrustantes en el cefalotórax y los quelípedos. Se observan distintos tipos de algas costrosas adheridas al exoesqueleto, con variaciones en color y textura, dos de ellas pertenecientes a la familia Corallinaceae y la última sin identificar.....29

Figura 8: Vista dorsal de telson en A) macho y B) hembra. Se observa que el telson del macho presenta una forma más triangular, mientras que en la hembra el borde distal es más redondeado.....	30
Figura 9: Vista ventral del abdomen. En A) se observan los vestigios pleopodales en un macho. En B) se muestra el segundo par de pleópodos especializados en la transferencia de esperma. En C) y D) se aprecia el primer par de pleópodos modificados presente tanto en hembras como en machos (marcados en rojo), destinado a la limpieza y manipulación.....	31
Figura 10: Variación del patrón de coloración ventral en A) machos y B) hembras de <i>A. punctatus</i> . En los machos, la coloración cambia progresivamente con la talla, mientras que en las hembras se mantiene estable. Los machos de la figura varían entre 21 mm y 39 mm de cefalotórax, y las hembras entre 25 y 32 mm.....	32
Figura 11: Histograma de la longitud y ancho del cefalotórax en machos y hembras de <i>Allopetrolisthes punctatus</i>	33
Figura 12: Histograma de la longitud de los quelípedos derecho e izquierdo para hembras y machos de <i>A. punctatus</i>	34
Figura 13: Histogramas de la longitud y el ancho del abdomen entre hembras y machos de <i>A. punctatus</i>	35
Figura 14: Distribución de machos (en azul) y hembras (en rojo) en el espacio definido por los dos primeros componentes principales obtenidos del análisis de datos morfométricos.....	40
Figura 15: Relación entre la fecundidad, expresada como el número de huevos, y la longitud cefalotorácica de <i>Allopetrolisthes punctatus</i>	41
Figura 16: Relación entre la fecundidad, en número de huevos y el primer componente principal (PC1) de la morfometría en <i>Allopetrolisthes punctatus</i> . En el eje x, los valores de PC1 representan la variabilidad morfométrica de los individuos, mientras que en el eje y se muestra el número de huevos producidos por hembra. Los puntos están clasificados en cuatro	

categorías de desarrollo embrionario (I, II, III, IV), diferenciadas por tonalidades de color.....42

Figura 17: A) Fotografía de masa de huevos en pleópodos de una hembra de *Allopetrolisthes punctatus*, B) y C) fotografías de huevos en estado temprano.....43

Figura 18: A) Fotografía de masa de huevos en pleópodos de la hembra, B) huevos con formación de ojos y abdomen, y en C) huevos con ojos alargados y abdomen en formación a un costado.....43

Figura 19: A) Fotografía de masa de huevos en pleópodos de una hembra de *Allopetrolisthes punctatus*, B) y C) fotografías de huevos en estado medio-tardío.....44

Figura 20: A) fotografía de masa de huevos en pleópodos de una hembra de *Allopetrolisthes punctatus*, B) fotografías de huevos en estado tardío ya en proceso de eclosión.45

Figura 21: Dibujo de A) Prezoea, B)Maxilípedo I, C)Maxilípedo II, D) Telson.....47

Figura 22: Dibujo de A) Zoea I, B) Anténula, C) Antena, D) Abdomen, E) Telson, F) Maxilípedo I, G) Maxilípedo II.....48

Figura 23: Secuencia fotográfica del proceso de metamorfosis de una larva en estado de prezoa hacia zoea I. La escala corresponde a larva en estado de prezoa mostrada en B (0.5 mm). En la primera fila (A-C), la larva recién eclosionada, aún conserva su membrana embrionaria y muestra una morfología compacta con los apéndices poco diferenciados. En la segunda fila (D-F), la larva comienza a desprenderse de la membrana embrionaria, permitiendo la extensión progresiva de sus apéndices sus apéndices y estructuras corporales. En la última imagen (F), aunque la larva ha avanzado en su transformación, aún no ha completado la transición a zoea I, ya que sus apéndices siguen parcialmente retraídos y no ha adquirido completamente la morfología típica de este estadio.....49

Figura 24: Fotografías de larvas de *A. punctatus* en estado de Zoea I.....50

Figura 25. Proporción de los estados de madurez sexual (SMS) en hembras de *Allopetrolisthes punctatus* en Chome, desde noviembre 2014 hasta febrero 2016. Se presentan cuatro estados de madurez: S1(inmaduro), S2 (madurez temprana), S3 (madurez

avanzada), S4 (Ovígeras), mostrando variaciones temporales en la población a lo largo del periodo de estudio. Extraído de Santa Cruz & Retamal (2018)56

Figura 26: Comparación del estado de los pleópodos en hembras de *Allopetrolisthes punctatus*. A la izquierda, hembra con pleópodos oscuros, lo que indica una reciente incubación de huevos y la presencia de setas ovígeras con restos embrionarios. A la derecha, hembra con pleópodos claros, sin indicios visibles de haber estado ovígera recientemente. Estas diferencias sugieren la existencia de ciclos reproductivos en la especie, donde las hembras pueden alternar periodos de incubación y descanso reproductivo, ya que incluye todos los rangos de talla, tanto para hembras ovígeras como para las no ovígeras dentro del estudio.....57

Resumen

La fecundidad es un parámetro clave en la biología reproductiva de los organismos marinos, ya que permite evaluar la capacidad reproductiva de una especie y su dinámica poblacional. En decápodos, la fecundidad depende de diversos factores como el tamaño corporal y las condiciones ambientales específicas de cada hábitat. *Allopetrolisthes punctatus* es una especie de porcelánido distribuida entre Perú y la zona centro sur de Chile, se encuentra formando densas agregaciones (2500 ind/m²) en localidades con condiciones ambientales extremas como caleta Chome, Región del Biobio. Sin embargo, existen pocos estudios sobre su biología reproductiva, y desarrollo de sus estadios tempranos de vida planctónica.

El presente estudio tuvo como objetivo estimar la fecundidad de *A. punctatus* de la zona rocosa de Punta Los Lunes, en el extremo norte de la Bahía de Quintero, Region de Valparaíso y compararla con lo observado por estudios previos en caleta Chome. Además, se buscó analizar la relación entre la fecundidad y la morfometría de los individuos para evaluar posibles diferencias en la capacidad reproductiva de la especie en ambas localidades y describir los estadios de desarrollo embrionario y las primeras formas de vida planctónica. También se realizó un análisis morfométrico comparativo entre hembras y machos para identificar eventuales diferencias estructurales.

Los resultados revelaron una fuerte relación entre las dimensiones del cefalotórax y del abdomen para ambos sexos. En las hembras las dimensiones del abdomen fueron los principales factores que explicaron la variabilidad morfométrica, mientras que, en los machos, la variabilidad estuvo más influenciada por el tamaño del cefalotórax, presentando diferencias notables en sus características morfométricas, lo que confirma el dimorfismo sexual en la especie. Las hembras tienen un abdomen más grande, adaptado para la incubación de los huevos, mientras que los machos presentan una mayor variabilidad en el tamaño del cefalotórax y los quelípedos, lo que podría estar relacionado con las estrategias de competencia intraespecífica.

Se observó una gran variabilidad en el número de huevos por hembra, que varió entre 27 y 5722. Sin embargo, no se encontró una relación clara entre la fecundidad y la talla, lo que sugiere que otros factores, como las condiciones ambientales y la nutrición pueden influir en la capacidad reproductiva de la especie. Al comparar con el estudio de Chome, donde la

fecundidad supera los 8000 huevos, se encontraron diferencias en la dispersión de los datos de fecundidad, con una mayor variabilidad en Punta Los Lunes, lo que podría estar relacionado con diferencias en las condiciones ambientales y el estrés fisiológico. Se identificaron cuatro etapas del desarrollo embrionario en los huevos: desde la fase I, con un color rojo intenso, hasta la fase IV, cuando los embriones están completamente formados y listos para la eclosión, y se obtuvieron larvas del estadio de prezoa y zoea I.

Este estudio proporciona una comprensión más detallada de la biología reproductiva de *A. punctatus*, evidenciando variabilidad espacial en su fecundidad probablemente debido a la influencia de factores ambientales y diferencias morfométricas entre sexos.

Palabras clave: Fecundidad, morfometría, *Allopetrolisthes punctatus*, decápodos, porcellanidos, biología reproductiva, Bahía de Quintero.

Abstract

Fecundity is a key parameter in the reproductive biology of marine organisms, as it allows the evaluation of a species' reproductive capacity and its population dynamics. In decapods, fecundity depends on various factors such as body size and the specific environmental conditions of each habitat. *Allopetrolisthes punctatus* is a species of porcelain crab distributed between Peru and the central-southern region of Chile, forming dense aggregations (2500 ind/m²) in locations with extreme environmental conditions, such as Caleta Chome, in the Biobío Region. However, there are few studies on its reproductive biology and the development of its early planktonic life stages.

The aim of this study was to estimate the fecundity of *A. punctatus* from the rocky area of Punta Los Lunes, at the northernmost point of Quintero Bay, Valparaíso Region, and compare it with previous studies conducted in Caleta Chome. Additionally, we aimed to analyze the relationship between fecundity and the morphometry of individuals to assess potential differences in the species' reproductive capacity between both locations, and to describe the stages of embryonic development and the early planktonic life forms. A comparative morphometric analysis was also conducted between females and males to identify any structural differences.

The results revealed a strong relationship between the dimensions of the cephalothorax and abdomen for both sexes. In females, the abdomen's dimensions were the main factors explaining the morphometric variability, while in males, variability was more influenced by the size of the cephalothorax, showing notable differences in their morphometric characteristics, which confirms sexual dimorphism in the species. Females have a larger abdomen, adapted for egg incubation, while males show greater variability in the size of the cephalothorax and chelae, which could be related to intraspecific competition strategies.

A high variability in the number of eggs per female was observed, ranging from 27 to 5722. However, no clear relationship between fecundity and size was found, suggesting that other factors, such as environmental conditions and nutrition, may influence the species' reproductive capacity. When compared with the study from Chome, where fecundity exceeds

8000 eggs, differences in the dispersion of fecundity data were found, with greater variability in Punta Los Lunes. This may be related to differences in environmental conditions and physiological stress. Four stages of embryonic development in the eggs were identified: from phase I, with a deep red color, to phase IV, when the embryos are fully formed and ready for hatching. Larvae from the prezoa and zoea I stages were obtained.

This study provides a more detailed understanding of the reproductive biology of *A. punctatus*, highlighting spatial variability in its fecundity likely due to the influence of environmental factors and morphometric differences between sexes.

Keywords: Fecundity, morphometry, *Allopetrolisthes punctatus*, decapods, porcelain crabs, reproductive biology, Quintero Bay.

Introducción

Los decápodos son un orden diverso y abundante de crustáceos, presente en múltiples hábitats marinos, principalmente en ambientes bentónicos que van desde la zona litoral hasta el océano profundo (Briones-Fourzan & Hendrickx, 2022). Estos organismos son un componente clave del ecosistema, ya que desempeñan un papel trófico importante como presas de peces intermareales y como depredadores (Castilla y Paine, 1987; Gebauer *et al* 2007 en Viña *et al.*, 2018;). En algunos casos pueden ser el foco de pesquerías comerciales importantes, como es el caso de la jaiba azul en la costa este de Estados Unidos (Stagg & Whilden, 1997), y del langostino colorado en las costas de Chile (Subpesca, 2008).

El ciclo de vida de la mayoría de los decápodos incluye una fase larval de vida planctónica, cuya dispersión y sobrevivencia son esenciales para el reclutamiento y renovación de las poblaciones (Pardo *et al.*, 1997). Esta fase también influye en la estructura espacial y dinámica poblacional (Wehrtmann & Báez, 1997; Roa & Tapia, 2000). Sin embargo, un aspecto relevante para la comprensión de la dinámica poblacional y las fluctuaciones temporales en el tamaño y estructura de una especie es su fecundidad. Esta se define como el número de huevos que produce una hembra, y está estrechamente relacionada con la talla del individuo, lo que influye en la capacidad de una población para mantener su tamaño y estructura a lo largo del tiempo. Esto es particularmente importante en el contexto de las especies expuestas a cambios en las condiciones físico-químicas del océano, como los que se esperan bajo escenarios de cambio climático.

Por lo tanto, para entender las fluctuaciones temporales en el tamaño y estructura poblacional de una especie de interés, así como su sensibilidad a cambios en las condiciones físico-químicas del océano costero en un escenario de cambio climático, es esencial conocer aspectos de la actividad reproductiva y fecundidad de la especie.

En Chile se han descrito más de 400 especies de crustáceos decápodos (Retamal & Moyano, 2010). Sin embargo, los estudios sobre su desarrollo larval y aspectos reproductivos, como la fecundidad son escasos y mayormente antiguos (Wehrtmann & Báez (1997); Fagetti & Campodonico, 1970; Fagetti, 1973; Vargas *et al.*, 2006; Báez & Palma (2010); Fagetti *et al.*, 1969).

Dentro de los decápodos, la familia Porcellanidae, perteneciente al infraorden Anomura, incluye especies de cangrejos de pequeño tamaño que habitan grietas en zonas del intermareal rocoso y del submareal. En Chile, se han descrito 17 especies de esta familia (Retamal & Moyano, 2010; Gonzalez-Canales *et al.*, 2019), y solo en cinco casos se ha descrito el desarrollo larval completo: *Petrolisthes granulatus* (Saelzer *et al.*, 1986), *P. laevigatus* (Albornoz & Wehrtmann, 1996), *Allopetrolisthes angulosus* (Wehrtmann *et al.*, 1996), *P. violaceus* (Wehrtmann *et al.*, 1997) y *P. tuberculatus* (Gonzalez-Canales *et al.*, 2019).

Allopetrolisthes punctatus (Guérin, 1835) es la especie más grande de su familia, con una longitud máxima del caparazón de 40 mm y un peso corporal de hasta 60 gramos (Viviani & Werding, 2010). Su distribución abarca desde Ancón, Perú (11°45'S) hasta Valdivia (40°S). En Chile, se ha registrado en altas densidades, formando agregaciones de hasta 2500 ind/m² en espacios abiertos y desprotegidos sobre el sustrato rocoso en el submareal de caleta Chome (36°46'24''S), donde habita en un rango batimétrico entre 1 y 17 m de profundidad (Retamal & Santa-Cruz, 2018). Además, su presencia ha sido documentada en otros sectores del país, como en la costa de Coquimbo (Viviani & Werding, 2010), en la bahía de Cartagena, región de Valparaíso (Sergio Navarrete, com. pers.), en la bahía de San Vicente, región del Biobío (Viña *et al.*, 2018), y en la bahía de Quintero (Kriss Cabezas, obs. pers.).

Además, se ha observado que *A. punctatus* cohabita con otras especies de porcelánidos, como *Allopetrolisthes angulosus*, *Pachycheles grossimanus* y *Petrolisthes violaceus* desde 30°S hasta los 18°S (Gonzalez-Canales *et al.*, 2019). Asimismo, se ha documentado su asociación con los discos de fijación de macroalgas, como *Lessonia nigrescens* y *Durvillaea antarctica* (Santelices *et al.*, 1980), y con especies como la estrella de mar *Heliaster helianthus* y el erizo de mar *Tetrapygus niger* en el sublitoral superior (Viviani & Werding, 2010).

El ciclo de vida de *A. punctatus* incluye una fase larval planctónica con diversas morfologías larvales en su desarrollo (Vela & Gonzalez-Gordillo, 2016). Tras la cópula entre macho y hembra, la hembra ovígera porta los huevos fertilizados por un periodo de 3-4 meses hasta su eclosión, y las larvas son liberadas gradualmente en los primeros 3 a 5 días desde la eclosión (Vina-Trillos *et al.*, 2021). Posteriormente, las larvas pasan por las etapas de prezoa, zoeas etapa I y II y finalmente una megalopa (Retamal & Santa-Cruz, 2018).

Las condiciones ambientales regionales en Chile impactan directamente la dinámica reproductiva de *A. punctatus*. En Chome, ubicada en la costa de Chile central (36°10'S-37°45'S), las aguas de fondo presentan temperaturas promedio más bajas ($11.76 \pm 0.021^{\circ}\text{C}$). Esta localidad se distingue por una intensa variabilidad de alta frecuencia (periodos ≤ 1 día) tanto en la temperatura como el oxígeno disuelto en el fondo, siendo la de mayor importancia relativa respecto a la variabilidad sinóptica (Latapiat, 2023). La influencia de la surgencia en esta región que genera bajas temperaturas en el agua de fondo es un factor clave en la estructura de las comunidades bentónicas submareales (Hernández, 2021).

La surgencia en Chome trae consigo aguas frías que pueden modular el reclutamiento y asentamiento de los organismos bentónicos (Hernández, 2021), favoreciendo a aquellas especies con mayor tolerancia a las condiciones ambientales fluctuantes (Latapiat, 2023). La surgencia costera en la zona central de Chile es un proceso oceanográfico importante que influye en el transporte de larvas de invertebrados bentónicos hacia la costa, lo cual tiene implicaciones significativas para el reclutamiento (Vargas et al., 2004; 2006)

Por otro lado, en localidades como Las Cruces (Región de Valparaíso), así como en sectores de la costa de Coquimbo, la influencia de la surgencia es menor, y las condiciones del agua superficial suelen ser más cálidas y con menor mezcla vertical que en zonas más al sur (Narváez et al., 2004; Baldanzi et al., 2020; Tapia et al., 2014). Si bien ambas localidades están influenciadas por la surgencia costera, la intensidad, frecuencia, periodicidad y otros aspectos de los eventos de surgencia pueden diferir espacialmente (Hernández, 2021; Latapiat, 2023). Factores como la geomorfología costera, la batimetría local y la influencia de otros elementos como el cañón submarino del río Biobío cerca de Chome, pueden modular la manera en que la surgencia afecta las condiciones del agua de fondo en cada ubicación (Latapiat, 2023). Las condiciones hidrográficas variables generadas por la surgencia pueden tener implicaciones importantes no solo para la ecología de las especies bentónicas costeras, sino también para el manejo y la conservación de pesquerías (Vargas et al., 2004).

La duración del periodo de vida planctónica y el patrón de dispersión larval están determinados por la dinámica costera local. A medida que aumenta la temperatura, las tasas metabólicas de los organismos se incrementan, lo que puede generar una mayor inversión energética en el desarrollo temprano de las larvas, afectando a su vez la fecundidad y la

capacidad de reclutamiento de las poblaciones. En general, las bajas temperaturas retardan el metabolismo de los organismos, lo que prolonga el tiempo de desarrollo larval y favorece una mayor dispersión, mientras que las altas temperaturas acortan este periodo y reducen la dispersión larval (O'Connor *et al.*, 2007; Baldanzi *et al.*, 2020; Barría *et al.*, 2005).

En este contexto, este estudio se centró en la estimación de la fecundidad y caracterización de la morfometría de *Allopetrolisthes punctatus* en la localidad de Punta Los Lunes, bahía de Quintero, región de Valparaíso, con el objetivo de establecer una curva de fecundidad en función de la talla. Además, se realizó un análisis morfométrico, diferenciación sexual y caracterización de las etapas de desarrollo embrionario, y se llevó a cabo un cultivo larval preliminar para describir los primeros estadios larvarios.

La curva de fecundidad obtenida fue comparada con los parámetros de fecundidad previamente reportados para la población de *A. punctatus* en caleta Chome (Retamal & Santa-Cruz, 2018), con el fin de evaluar posibles diferencias en las estrategias reproductivas de la especie. De esta manera, se espera contribuir al conocimiento sobre la dinámica poblacional de *A. punctatus* en diferentes zonas geográficas y mejorar la comprensión de los factores que influyen en su éxito reproductivo.

Objetivo general

Caracterizar la morfometría y fecundidad de adultos, así como las etapas de desarrollo embrionario de *Allopetrolisthes punctatus* en la zona rocosa de Punta Los Lunes, comuna de Puchuncaví, región de Valparaíso, y compararla con antecedentes previamente reportados en Chome (Retamal & Santa-Cruz, 2018). Además, implementar un cultivo larval preliminar para obtener y describir la morfología de los primeros estadios larvales, como preparación para un futuro estudio sobre desarrollo larval completo en condiciones de laboratorio.

Objetivos específicos

- A) Caracterizar visualmente las diferencias morfológicas entre sexos y estimar la proporción sexual de la población.
- B) Realizar mediciones morfométricas de ejemplares hembras y machos de *A. punctatus*
- C) Evaluar la fecundidad mediante el conteo de huevos en un número representativo de hembras ovígeras.
- D) Describir las etapas del desarrollo embrionario, a partir del análisis microscópico de los huevos.
- E) Realizar un cultivo larval preliminar en laboratorio para describir las primeras etapas de vida planctónica.

Materiales y métodos

Recolección de ejemplares.

Los individuos fueron recolectados mediante buceo semiautónomo con hookah, utilizando una red de mano, a una profundidad aproximada de 8 metros en la costa de Chile central, específicamente en la zona rocosa de Punta Los Lunes en el sector norte de la bahía de Quintero ($32^{\circ}44'08.6''\text{S}$, $71^{\circ}30'07.4''\text{W}$), región de Valparaíso.

En total, se recolectaron 770 ejemplares de un área de 1 m^2 . Estos fueron transportados en agua de mar dentro de un cooler previamente enfriado con ice packs congelados, hasta la Estación de Investigación Marina (ECIM) de la Pontificia Universidad Católica de Chile, ubicada en la localidad de Las Cruces, región de Valparaíso.



Figura 1: Ubicación de la zona de muestreo en Punta Los Lunes, comuna de Puchuncaví, región de Valparaíso, Chile. Zona rocosa costera donde se realizó la recolección de ejemplares de *Allopetrolisthes punctatus*.

Al llegar a ECIM, los organismos fueron transferidos a acuarios con agua de mar fresca y aireación para su aclimatación. Posteriormente, se realizó la separación de los ejemplares según su estado vital, distinguiendo entre aquellos que sobrevivieron y los que no resistieron, probablemente debido al hacinamiento y la baja oxigenación durante el transporte. Los ejemplares vivos fueron mantenidos en los acuarios para la observación de su comportamiento y la obtención de larvas para el cultivo. Por otro lado, los organismos que no sobrevivieron fueron utilizados para mediciones morfométricas y análisis de fecundidad. En conjunto, todos los ejemplares recolectados fueron medidos y considerados en la estimación de la proporción sexual de la población.

Comportamientos sociales y reproductivos de *A. punctatus*.

Para la observación de comportamiento y la obtención de larvas, se utilizaron 102 individuos, los cuales fueron mantenidos en un sistema de circulación abierta compuesto por dos acuarios interconectados.

El primer acuario, de 1.18 m x 36 cm x 23.3 cm, se destinó exclusivamente a la observación de comportamiento entre hembras y machos. El segundo acuario, de 52.3 cm x 29.1 cm x 16 cm, albergó a 11 hembras ovígeras en distintos estadios embrionarios, con el propósito de obtener larvas.

Ambos acuarios estaban conectados mediante una manguera de goma de 70 cm de largo y un sistema de tubos PVC con válvulas, permitiendo regular el flujo de agua entre ellos. El agua de mar ingresaba al acuario grande y fluía hacia el acuario pequeño, donde se instaló un receptáculo con un tamiz de 180 micras para la retención de larvas. Para evitar la acumulación de materia orgánica en el acuario de las hembras ovígeras, se incorporó un filtro en la conexión de ambos acuarios, el cual era limpiado diariamente.

Los acuarios fueron ambientados con un sustrato de arena en el fondo, rocas y algas para favorecer la generación de materia orgánica dentro del sistema y proporcionar un entorno más natural (**Figura 2**). Además, se fue añadiendo periódicamente a la dieta un par de choritos (*Mytilidae*) trozados para incrementar el aporte de materia orgánica.

La limpieza del acuario se realizó cada tres días para evitar la acumulación excesiva de materia orgánica particulada. Asimismo, se llevó un registro de mortalidad de los ejemplares durante el periodo de estudio.

Este sistema de circulación proporcionaba un suministro constante de agua de mar, manteniendo condiciones estables de salinidad y temperatura. La temperatura en el acuario grande se mantuvo cerca de 16.5°C, mientras que en el acuario pequeño fue de 17.1°C, registrándose una variación de 0.6 grados debido al flujo de agua entre ambos. Además, la salida del agua del acuario pequeño se ubicó estratégicamente para facilitar la captación de larvas recién eclosionadas, permitiendo su recolección y posterior estudio.



Figura 2: Acuario principal del sistema de cultivo con ejemplares de *Allopetrolisthes punctatus* mantenidos en condiciones controladas de laboratorio en ECIM. Los organismos se alojaron en acuarios con sustrato de arena, rocas y algas para observar su comportamiento en un entorno que simula su hábitat natural.

Determinación del sexo de los ejemplares

La determinación sexual de los ejemplares se realizó mediante la observación directa de sus características morfológicas. La diferenciación entre hembras y machos se basó principalmente en la forma del telson, el tamaño de abdomen, la presencia o ausencia de apéndices pleopodales y la colorimetría en vista ventral. Además, se calculó la proporción sexual.

Mediciones morfométricas

Los individuos fueron separados por sexos y se realizaron mediciones de la longitud y el ancho del cefalotórax, la longitud de los quelípedos y la longitud y el ancho del abdomen utilizando un pie de metro con precisión de 0.05 mm. Estos datos se utilizaron para realizar un análisis comparativo de las características morfométricas entre sexos, además de establecer las proporciones sexuales y análisis fecundidad a la talla.

Evaluación de fecundidad y descripción de desarrollo embrionario.

Para la evaluación de fecundidad, se retiró la masa de huevos de 137 hembras ovígeras utilizando pinzas. Estas masas de huevos fueron clasificadas por estadio de desarrollo embrionario, basándose en la morfología y coloración de los huevos, y luego preservadas en frascos con etanol al 70%. Posteriormente, se realizó el conteo de los huevos mediante una cámara de conteo Bogorov de 20 ml y una lupa estereoscópica Olympus, modelo Sz61. Los huevos se clasificaron en cuatro estadios de desarrollo, caracterizados por cambios progresivos en la pigmentación, la visibilidad de estructuras embrionarias y la compactación del vitelo.

Recolección y descripción larval.

Para la recolección de las larvas, se utilizó un tamiz de 180 micras colocado en la salida de agua del segundo acuario. Este tamiz se inspeccionó diariamente para detectar la presencia de larvas, que se transfirieron a un recipiente de 500 ml con agua de mar filtrada a 0.22 micras y tratada con luz UV.

El cultivo se mantuvo a una temperatura de 19.5 a 20 °C y tuvo una duración de cinco días, alcanzando hasta el estadio de Zoea I.

Las larvas fueron alimentadas ad libitum con nauplius de *Artemia salina*, realizándose recambios de agua y suministro de alimento diariamente. Los nauplius fueron cultivados en un recipiente de 250 ml, asegurando una alimentación óptima mediante suministro de nauplius de *Artemia* recién eclosionados.

Los estadios larvales obtenidos fueron fotografiados y luego fijados en etanol al 70% para su posterior análisis morfológico. La descripción de las características larvales se realizó utilizando una lupa estereoscópica, lo que permitió un examen detallado de las larvas para proceder a dibujar los estadios.

Análisis de datos

Correlación morfométrica

Para examinar la relación entre las diferentes variables morfométricas de los individuos de *A. punctatus*, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre las medidas de la longitud y el ancho del cefalotórax y del abdomen y las longitudes de los quelipodos. Este análisis permitió determinar las asociaciones lineales entre las estructuras corporales de los machos y hembras. Las correlaciones de Pearson generaron coeficientes que indicaron que variables crecían de manera proporcional y cuales mostraban mayor o menor asociación. De este modo, se identificaron relaciones significativas que sirvieron como base para determinar qué medidas morfométricas contribuyen más a la variabilidad en la estructura corporal de cada sexo. Este análisis proporcionó una comprensión inicial de las proporciones corporales en ambas categorías sexuales, lo que resultó útil para la posterior clasificación de los componentes principales.

Análisis de componentes principales (PCA)

Para reducir la dimensionalidad de los datos morfométricos y detectar las principales fuentes de variabilidad en las estructuras corporales de *A. punctatus*, se realizó un análisis de componentes principales (PCA). Se utilizaron las mediciones de longitud y ancho del cefalotórax y abdomen, excluyendo a los quelípedos. El PCA permitió identificar los componentes principales que explicaron la mayor parte de la variabilidad morfológica en los individuos, tanto machos como hembras. El objetivo principal de este análisis fue determinar que variables tenían mayor peso en las diferencias morfológicas observadas entre sexos.

Análisis de fecundidad a la talla

Se evaluó la relación entre la fecundidad y el tamaño corporal en 137 hembras ovígeras de *A. punctatus*. Se registró el número total de huevos por hembra y se analizó su relación con las medidas morfométricas. Este análisis permitió determinar si existía una correlación entre el tamaño corporal y la cantidad de huevos producidos.

Resultados

Comportamientos sociales y reproductivos de *Allopetrolisthes punctatus*.

Durante el periodo de observación en los acuarios, se documentaron diversos comportamientos sociales y reproductivos de *Allopetrolisthes punctatus*. Los individuos mostraron una marcada tendencia a formar agregaciones, tal como se había documentado en estudios previos sobre poblaciones en Chome y Coquimbo (Retamal & Santa- Cruz 2018; Viviani & Werding, 2010). Estas agregaciones consistían en individuos apilados y sujetos entre si (**Figura 3**), con las hembras ovígeras ubicándose predominantemente en las posiciones más bajas.



Figura 3: Formación de agregaciones en *A. punctatus*. Se observa la disposición apilada de los individuos y la tendencia de las hembras ovígeras a ocupar las posiciones inferiores dentro del grupo.

Se registraron interacciones agresivas, principalmente entre machos, que resultaron en la pérdida de quelípedos y apéndices en algunos individuos. En casos extremos, algunos machos quedaron completamente desprovistos de ellas, y se observó presencia de canibalismo (**Figura 4**). Cuando las agregaciones eran perturbadas, los individuos tendían a reorganizarse rápidamente, recuperando su disposición original en poco tiempo. Sin embargo, la remoción de hembras ovígeras alteró significativamente esta dinámica; los individuos permanecieron dispersos por varias horas antes de intentar reorganizarse nuevamente.

Por otro lado, se observaron hembras sin huevos moviéndose libremente por el acuario. Algunos machos interactuaban con estas hembras colocándose encima y sujetándolas.



Figura 4: Ejemplo de interacciones agresivas entre machos de *A. punctatus*. A la izquierda, un individuo con pérdida de un quelípedo como resultado de la lucha con otro macho. A la derecha, evidencia de canibalismo entre machos, donde un individuo está siendo depredado por otro.

Un hallazgo interesante fue la presencia, en algunas hembras ovígeras, de unos pocos huevos más grandes y de un color más claro en la parte superior de la masa de huevos (**Figura 5**). Se logró identificar un total de 11 hembras ovígeras, de las cuales 9 fueron recolectadas inicialmente. Posteriormente, se encontraron dos más, una en estado de desarrollo medio-tardío y otra en estado temprano, estas hembras se ubicaron en el acuario pequeño para la obtención de larvas.



Figura 5: Hembra ovígera con masa de huevos adherida a sus pleópodos. Se observa la presencia de unos pocos huevos de mayor tamaño y de coloración más claro en la parte superior de la masa de huevos.

Durante el monitoreo diario de los acuarios, se registró la presencia de juveniles en el acuario sujetos a los quelípedos de los adultos. En total, se identificaron nueve juveniles de distintos tamaños: ocho machos y una hembra, con tallas entre 11,8 mm y 5,25 mm. Estos individuos fueron fotografiados y fijados en etanol al 70% para su conservación (**Figura 6**). En los ejemplares más grandes, el segundo par de pleópodos (gonópodos) ya estaba desarrollado, mientras que la única hembra observada presentaba sus pleópodos abdominales casi completamente formados.

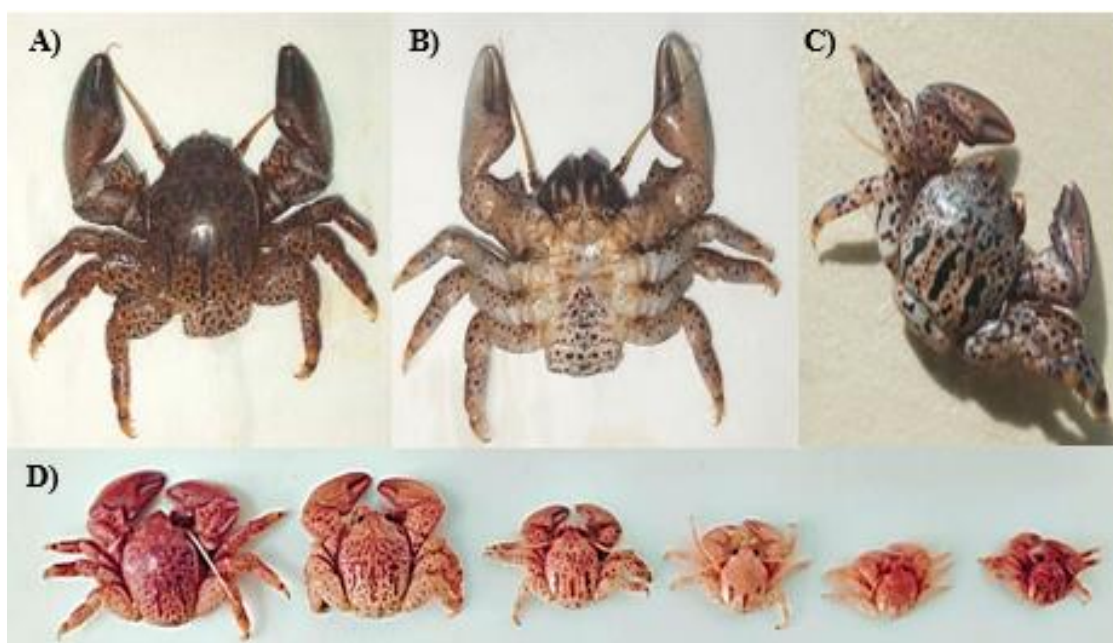


Figura 6: Juveniles donde en A) se muestra la vista dorsal de un ejemplar macho con un ancho de cefalotórax de 11.8 mm, en B) su vista ventral, y en C) un macho con un ancho de cefalotórax de 6.35 mm. En D) se presentan seis de los nueve juveniles observados; el primero corresponde al ejemplar de la imagen A, y el tercero al ejemplar de la imagen C.

Presencia de algas incrustantes en *A. punctatus*

Durante el análisis de los ejemplares, se observaron diversas formas de colonización por algas en el cefalotórax y quelípedos de algunos individuos. Se identificaron tres principales tipos de algas incrustantes, con diferencias en su textura, coloración y disposición en la superficie del caparazón, dos correspondientes a la familia Corallinaceae y una tercera sin identificar (**Figura 7**).



Figura 7: Ejemplares de *Allopetrolisthes punctatus* con algas incrustantes en el cefalotórax y los quelipedos. Se observan distintos tipos de algas costrosas adheridas al exoesqueleto, con variaciones en color y textura, dos de ellas pertenecientes a la familia Corrallinaceae y la última sin identificar.

Determinación del sexo de los ejemplares

Para la determinación sexual, se analizaron diferencias morfológicas en el telson, abdomen y colorimetría de la parte ventral de los individuos.

Forma de telson

El telson de *A. punctatus* presenta una morfología segmentada, con placas bien definidas y articuladas con los segmentos abdominales anteriores. En las hembras, el telson tiene una forma más ancha y redondeada en su vista dorsal, con un contorno distal convexo que le otorga una apariencia semejante a un corazón. En los machos, en cambio, el telson es más angosto y presenta un borde distal ligeramente más triangular (**Figura 8**).

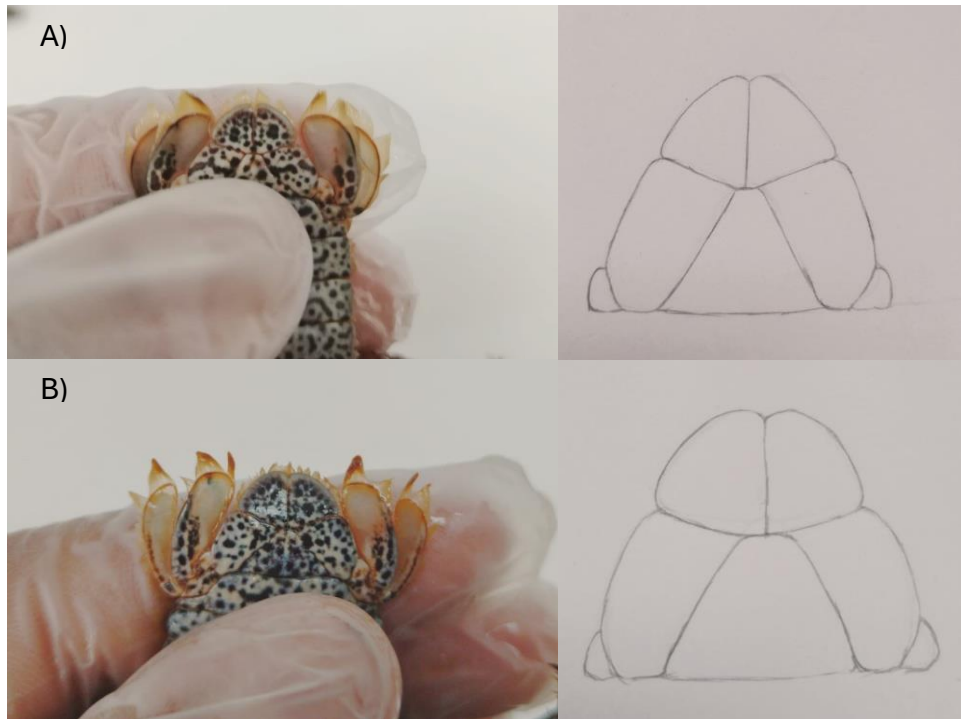


Figura 8: Vista dorsal de telson en A) macho y B) hembra. Se observa que el telson del macho presenta una forma más triangular, mientras que en la hembra el borde distal es más redondeado.

Forma y estructura de abdomen

El abdomen de *A. punctatus* consta de 5 somitos abdominales. En vista ventral, tanto hembras como machos poseen un primer par de pleópodos modificados, especializados en la limpieza y manipulación (**Figura 9**). En los machos, además de ese primer par, hay un segundo par de pleópodos especializados en la transferencia de esperma a la hembra durante la cópula, denominados gonópodos. Después de los gonópodos, los machos presentan 3 pares de vestigios pleopodales de aspecto cóncavo, en contraste con las hembras, que poseen pleópodos abdominales funcionales para la mantención de las masas de huevos.

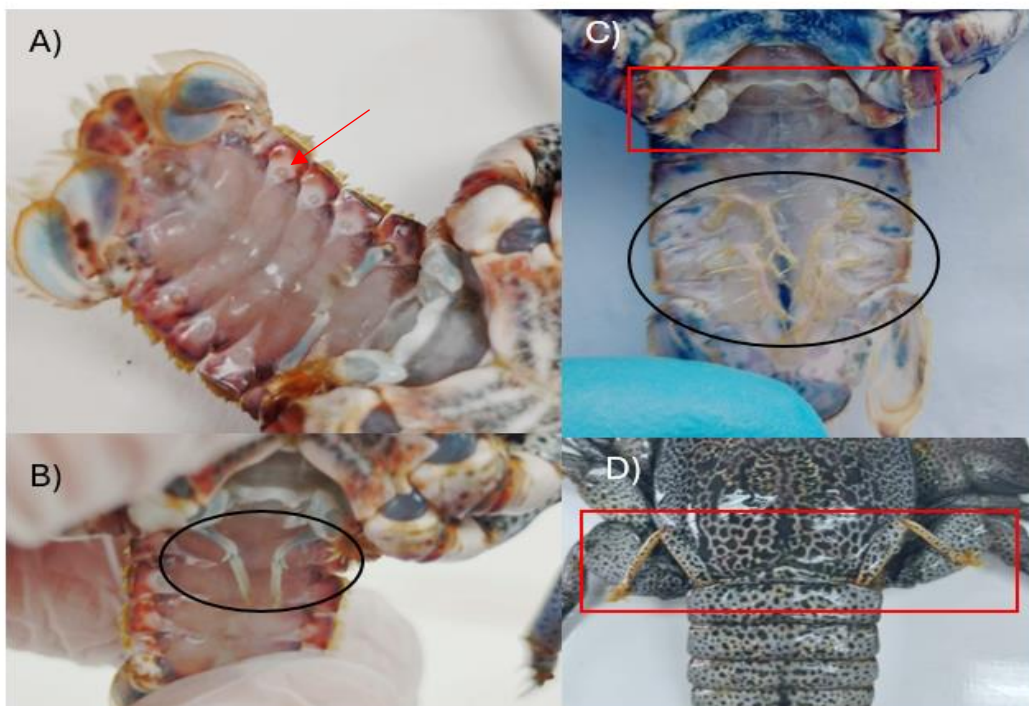


Figura 9: Vista ventral del abdomen. En A) se observan los vestigios pleopodales en un macho. En B) se muestra el segundo par de pleópodos especializados en la transferencia de esperma. En C) y D) se aprecia el primer par de pleópodos modificados presente tanto en hembras como en machos (marcados en rojo), destinado a la limpieza y manipulación.

En los machos, el segundo par de pleópodos forma los **gonópodos**, mientras que en la hembra los pleópodos abdominales (marcados en negro) son funcionales y cumplen un rol en la incubación y mantención de la masa de huevos.

Patrón de coloración en machos y hembras

En los machos, el patrón de coloración ventral varía con el aumento de la talla (**Figura 10**). Los individuos más pequeños presentan tonos turquesa y beige en los quelípedos, mientras que en los pereopodos predomina una tonalidad lila. A medida que la talla aumenta, las tonalidades naranjas y cafés se intensifican en los quelípedos. En contraste, las hembras presentan una coloración más estable, con predominio de tonos lilas, turquesa y beige, sin variaciones significativas en función del tamaño.

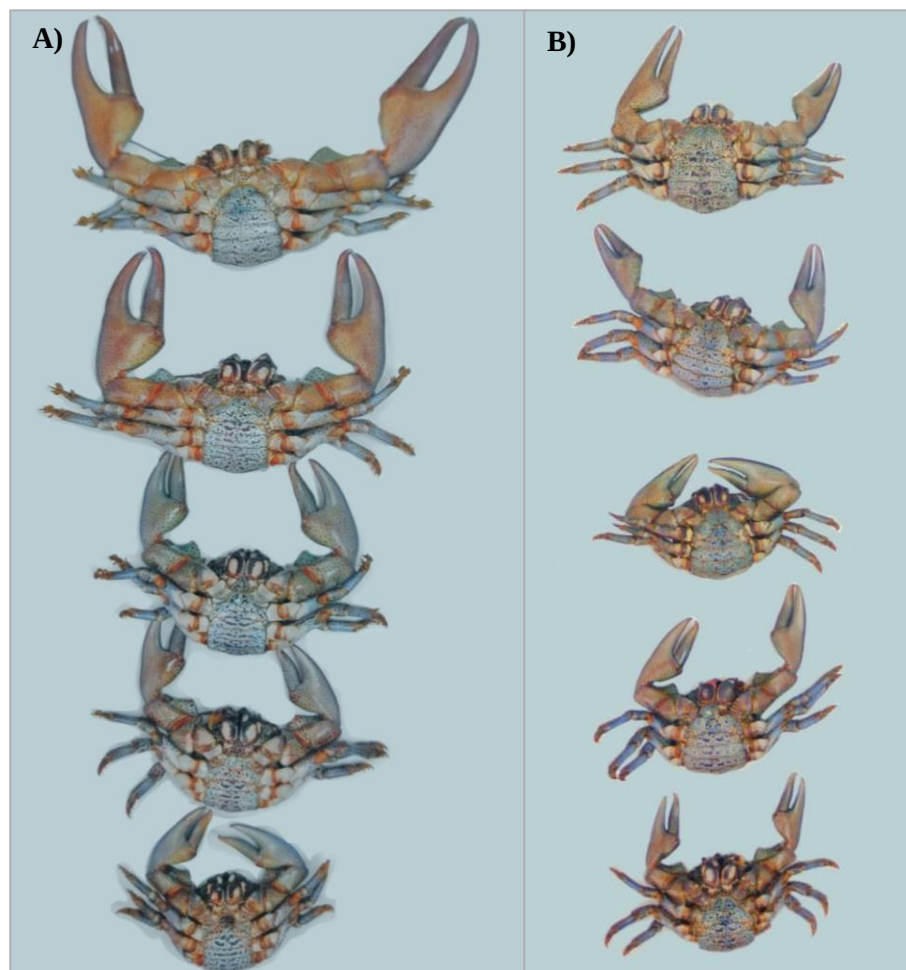


Figura 10: Variación del patrón de coloración ventral en A) machos y B) hembras de *A. punctatus*. En los machos, la coloración cambia progresivamente con la talla, mientras que en las hembras se mantiene estable. Los machos de la figura varían entre 21 mm y 39 mm de cefalotórax, y las hembras entre 25 y 32 mm.

Proporción sexual.

Se analizaron 770 individuos, 415 machos y 355 hembras. La proporción sexual de la muestra indica la presencia de aproximadamente 1,17 machos por cada hembra.

En porcentaje, la población estaba compuesta por un 53,9% de machos y un 46,1% de hembras.

Mediciones morfométricas.

Se realizaron mediciones en machos y hembras de *A. punctatus* para evaluar la variabilidad en el tamaño de diversas estructuras corporales. Se midieron la longitud y el ancho del

cefalotórax, la longitud de los quelípedos derecho e izquierdo, así como la longitud y el ancho de abdomen. En los juveniles solo se midió el ancho del cefalotórax.

Las mediciones de longitud y ancho de cefalotórax indicaron que hay dimorfismo sexual, con los machos generalmente de mayor tamaño, variando entre 16 mm a 39 mm. Las hembras, en cambio, oscilaron entre 25 mm y 35 mm, con una mayor proporción de individuos en torno a los 30 mm (**Figura 11**).

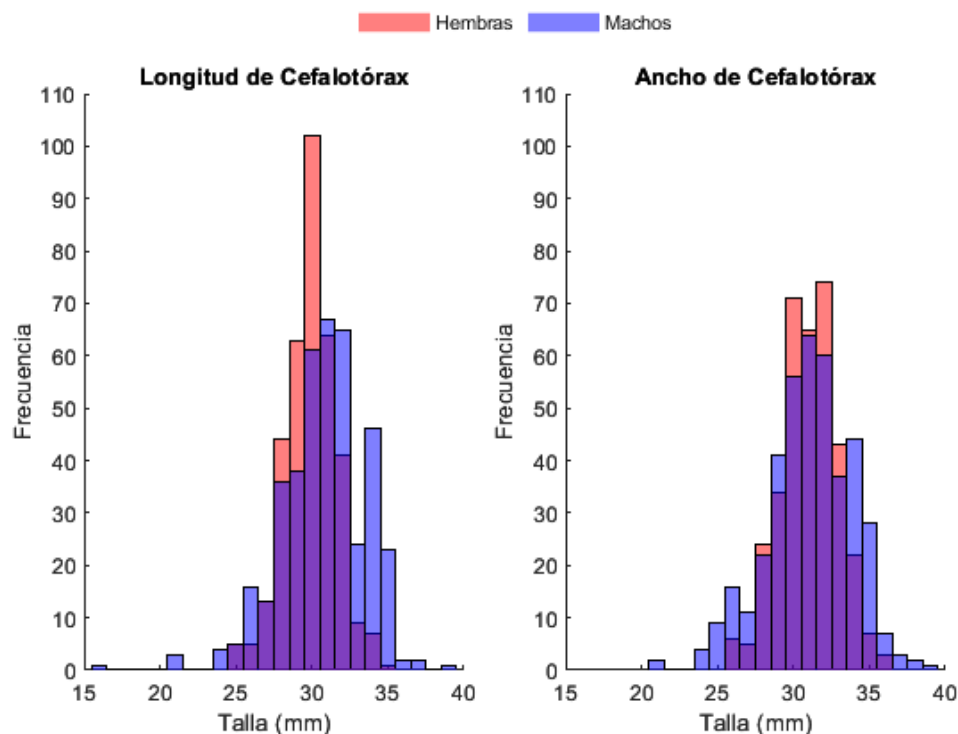


Figura 11: Histograma de la longitud y ancho del cefalotórax en machos y hembras de *Allopetrolisthes punctatus*.

Las longitudes de los quelípedos mostraron un mayor rango de variabilidad en los machos, de 25 mm a 90 mm en el quelípodo derecho, y de 27 mm a 83 mm en el izquierdo. En contraste, en las hembras hubo una variación entre 26 mm y 68 mm en el quelípodo derecho, y entre 26 mm y 73 mm en el izquierdo (**Figura 12**).

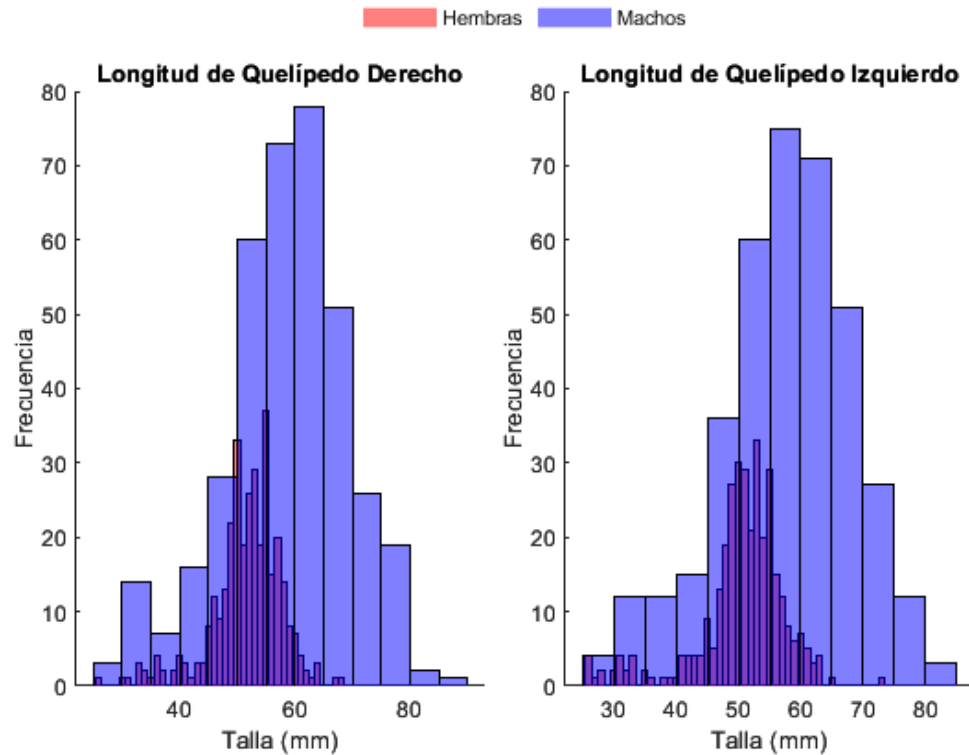


Figura 12: Histograma de la longitud de los quelípedos derecho e izquierdo para hembras y machos de *A. punctatus*.

Tanto en la longitud como el ancho del abdomen se observó una clara diferencia entre sexos. La longitud del abdomen en las hembras varió entre 27 mm y 41 mm, mientras que los machos variaron entre 21 mm y 38 mm (**Figura 13**).

El ancho del abdomen en las hembras varió entre 17 mm y 25 mm, y entre 11 mm y 21 mm en los machos, con una mayor proporción de individuos alrededor de 17 mm.

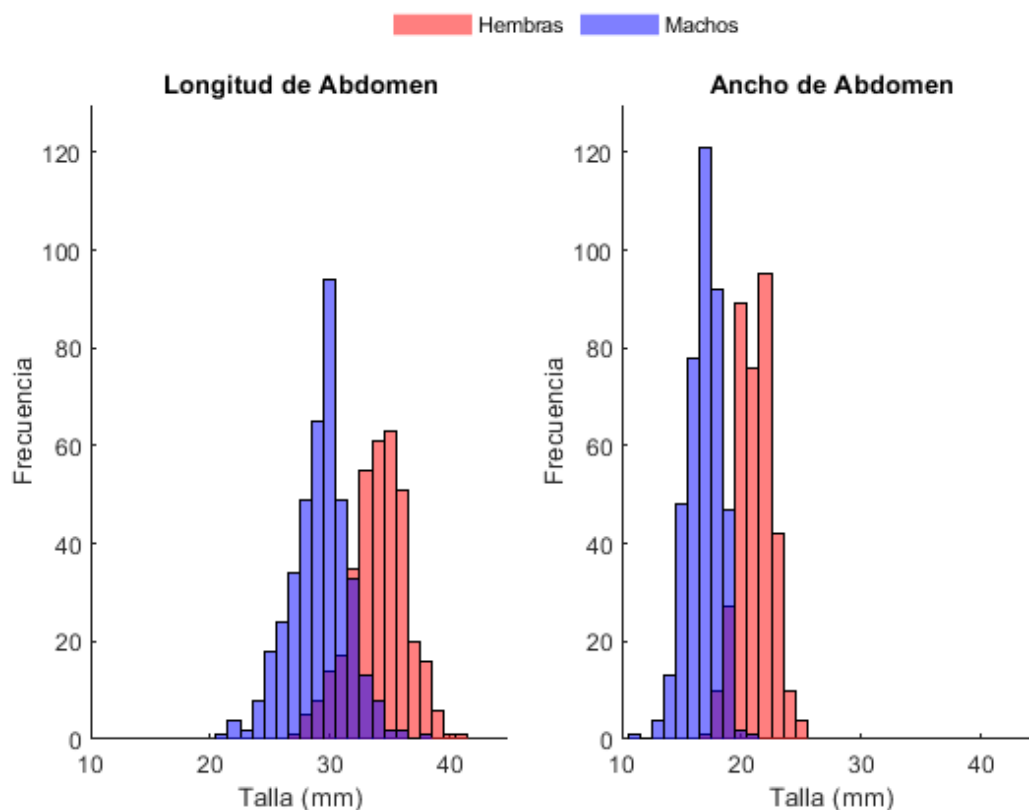


Figura 13: Histogramas de la longitud y el ancho del abdomen entre hembras y machos de *A. punctatus*.

Correlación entre variables morfométricas.

Las matrices de correlaciones entre las distintas variables morfométricas medidas *A. punctatus* permitieron evaluar en qué medida el crecimiento de una característica corporal está relacionado con el de otra.

En machos, la matriz de correlaciones mostró una fuerte relación positiva entre las dimensiones del cefalotórax y el abdomen con coeficientes superiores a 0.80 (**Tabla 1**). En cambio, las correlaciones entre la longitud de los quelípedos (QD y QI) y el cefalotórax y abdomen fueron moderadas (r entre 0.50 y 0.62).

Machos	LC	AC	QD	QI	LA	AA
LC	1.0000					
AC	0.9429	1.0000				
QD	0.6195	0.6120	1.0000			
QI	0.5590	0.5638	0.5353	1.0000		
LA	0.8560	0.8809	0.5825	0.5192	1.0000	
AA	0.8527	0.8704	0.5415	0.5201	0.8112	1.0000

Tabla 1: Matriz de correlación entre variables morfométricas medidas en machos de *A. punctatus*. Todos los coeficientes de correlación lineal de Pearson fueron significativos ($p < 0.01$)

Para las hembras, la matriz de correlaciones (**Tabla 2**) mostró una fuerte relación entre la longitud y el ancho del cefalotórax ($r = 0.90$), así como entre las medidas de longitud y ancho del abdomen y entre éstas las dimensiones del cefalotórax, con valores de $r > 0.80$.

En contraste, el largo de los quelípedos derecho e izquierdo mostró una correlación moderada con las dimensiones del cefalotórax y del abdomen y una correlación relativamente baja entre los quelípedos derecho e izquierdo.

Hembras	LC	AC	QD	QI	LA	AA
LC	1.0000					
AC	0.9040	1.0000				
QD	0.5809	0.5876	1.0000			
QI	0.5497	0.5466	0.4464	1.0000		
LA	0.8143	0.8458	0.5701	0.5116	1.0000	
AA	0.8402	0.8619	0.5089	0.4965	0.8010	1.0000

Tabla 2: Matriz de correlación entre variables morfométricas medidas en hembras de *A. punctatus*. Todos los coeficientes de correlación de Pearson fueron significativos.

Análisis de componentes principales (PCA)

Para el análisis de componentes principales (PCA), se consideraron únicamente las mediciones del cefalotórax y el abdomen, excluyendo los quelípedos dadas las bajas correlaciones encontradas entre éstas y las otras dimensiones morfométricas.

Los dos primeros componentes principales del PCA para machos explicaron el 96% de la variabilidad total y le influyeron mucho la longitud del cefalotórax, el ancho del cefalotórax y la longitud del abdomen. (**Tabla 3**).

El segundo componente principal (PC2) mostró una relación inversa entre la longitud del cefalotórax y la longitud del abdomen con una menor influencia del ancho del cefalotórax y el ancho del abdomen.

Coefficientes del PCA para machos				
Variables	PC1	PC2	PC3	PC4
Longitud de Cefalotórax	0.5809	-0.4362	-0.5678	-0.3872
Ancho de Cefalotórax	0.5907	-0.2650	0.3441	0.6800
Longitud de Abdomen	0.4817	0.8587	-0.1428	-0.0203
Ancho de Abdomen	0.2680	-0.0461	0.7340	-0.6223
% de variabilidad total explicada	91.9813	4.4363	1.9282	1.6542

Tabla 3: Coeficientes obtenidos en el análisis de componentes principales (PCA) para los machos de *Allopetrolisthes punctatus*, considerando las mediciones del cefalotórax y el abdomen.

En el PCA aplicado a los datos morfométricos de hembras, los dos primeros componentes principales explicaron el 95 % de la variabilidad total y le influyeron mucho la longitud del abdomen, el ancho y la longitud del cefalotórax, con menor contribución del ancho del abdomen (Tabla 4).

El segundo componente principal (PC2) está más influenciado por la longitud del abdomen, mientras que la longitud y el ancho del cefalotórax presentan valores negativos. De manera similar, el ancho del abdomen también muestra una contribución negativa, aunque de menor magnitud.

Coeficiente de PCA para hembras				
Variables	PC1	PC2	PC3	PC4
Longitud de Cefalotórax	0.4474	-0.4171	-0.4607	-0.6432
Ancho de Cefalotórax	0.5172	-0.4124	-0.1501	0.7348
Longitud de Abdomen	0.6314	0.7731	-0.0561	-0.0220
Ancho de Abdomen	0.3656	-0.2413	0.8730	-0.2145
% de variabilidad total explicada	88.2064	6.7804	2.8338	2.1793

Tabla 4: Coeficientes obtenidos en el análisis de componentes principales (PCA) para las hembras de *Allopetrolisthes punctatus*, considerando las mediciones del cefalotórax y el abdomen.

El análisis de componentes principales aplicado a todo el conjunto de datos permitió identificar las principales diferencias morfométricas entre hembras y machos de *Allopetrolisthes punctatus* con base en los primeros dos componentes principales (PC1 y PC2) que en conjunto explicaron el 96.4 % de la variabilidad total.

El PC1 se influyó principalmente por la longitud y ancho del abdomen, seguido por el ancho del cefalotórax, mientras que la longitud del cefalotórax pesó menos. En contraste, el PC2 mostró una relación inversa entre el tamaño del cefalotórax y el tamaño del abdomen, la variable con mayor peso en este componente fue la longitud del cefalotórax (**Tabla 5**).

Coeficientes de los PCA de Hembras + Machos				
Variables	PC1	PC2	PC3	PC4
Longitud de Cefalotórax	0.3446	0.6478	0.0433	-0.6780
Ancho de Cefalotórax	0.4150	0.5338	0.1125	0.7281
Longitud de Abdomen	0.6957	-0.3644	-0.6181	-0.0339
Ancho de Abdomen	0.4742	-0.4034	0.7768	-0.0947
% de la variabilidad total explicada	73.4757	22.9510	2.3382	1.2352

Tabla 5: Coeficientes obtenidos en el análisis de componentes principales (PCA) conjunto de hembras y machos de *Allopetrolisthes punctatus*, considerando las mediciones del cefalotórax y el abdomen.

La distribución de los individuos de *Allopetrolisthes punctatus* en el espacio definido por estos dos componentes principales mostró una clara separación entre sexos, observada a lo largo de los ejes X e Y. Los machos (en azul) y las hembras (en rojo) muestran un traslape casi total a lo largo del eje horizontal representado por la longitud del abdomen en el primer componente principal (PC1). Por otro lado, el segundo componente principal (PC2), representado por la longitud del cefalotórax, mostró una notoria separación entre sexos en este componente (**Figura 14**).

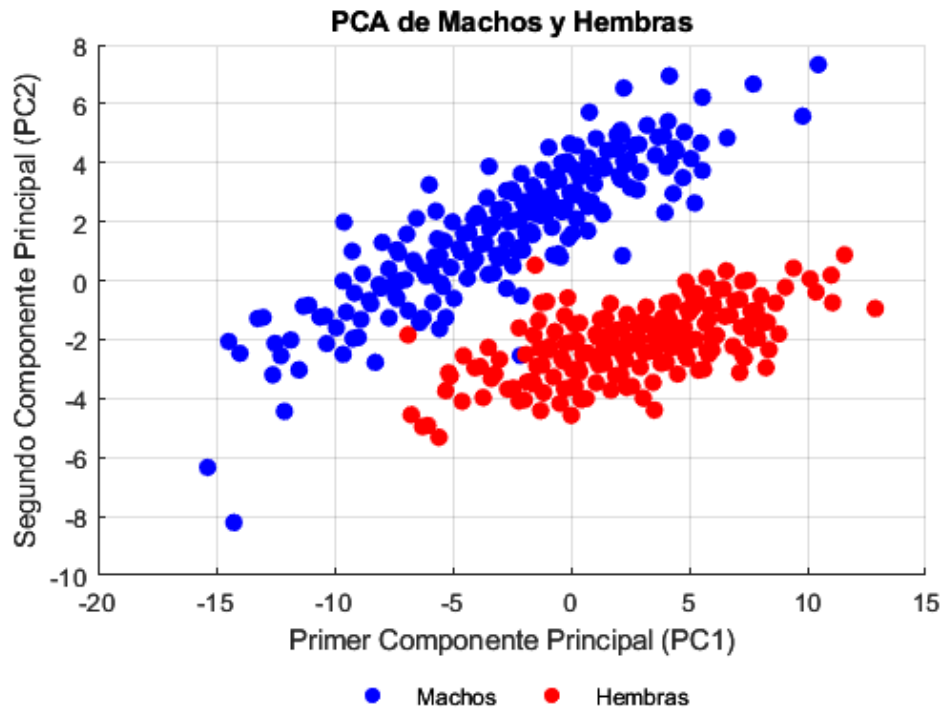


Figura 14: Distribución de machos (en azul) y hembras (en rojo) en el espacio definido por los dos primeros componentes principales obtenidos del análisis de datos morfométricos.

Evaluación de fecundidad y descripción de desarrollo embrionario.

El análisis de fecundidad en hembras de *Allopetrolisthes punctatus* reveló una gran variabilidad entre individuos, con un número de huevos que varió entre 27 y 5722. Para investigar la razón entre esta variabilidad y las características morfométricas de *A. punctatus*, se utilizó la longitud cefalotorácica de las hembras ovigeras como variable.

La distribución de tamaños y fecundidades en los diferentes estadios fue la siguiente:

- Estadio I: Hembras de 28 a 32 mm de longitud cefalotorácica, con una fecundidad que varió entre 88 y 3030 huevos.
- Estadios II: Hembras de 25 a 34 mm, con fecundidades entre 58 y 5722 huevos.
- Estadio III: Hembras de 27 a 35 mm, con fecundidades entre 27 y 5036 huevos.
- Estadio IV: Hembras de 28 a 32 mm, con fecundidades entre 348 y 4614 huevos.

Al analizar el gráfico de fecundidad en función de la talla del cefalotórax (**Figura 15**), no se observó una relación lineal clara entre ambas variables. Por eso, se realizó un análisis con el primer componente principal (PC1) del análisis de componentes principales (PCA) realizado para hembras, que representa el 95 % de la variabilidad. Sin embargo, incluso con ese análisis, no se evidenció una relación significativa entre la fecundidad y la morfología en función del tamaño cefalotorácico. Este resultado sugiere que la fecundidad podría estar influenciada por otros factores además del tamaño (**Figura 16**).

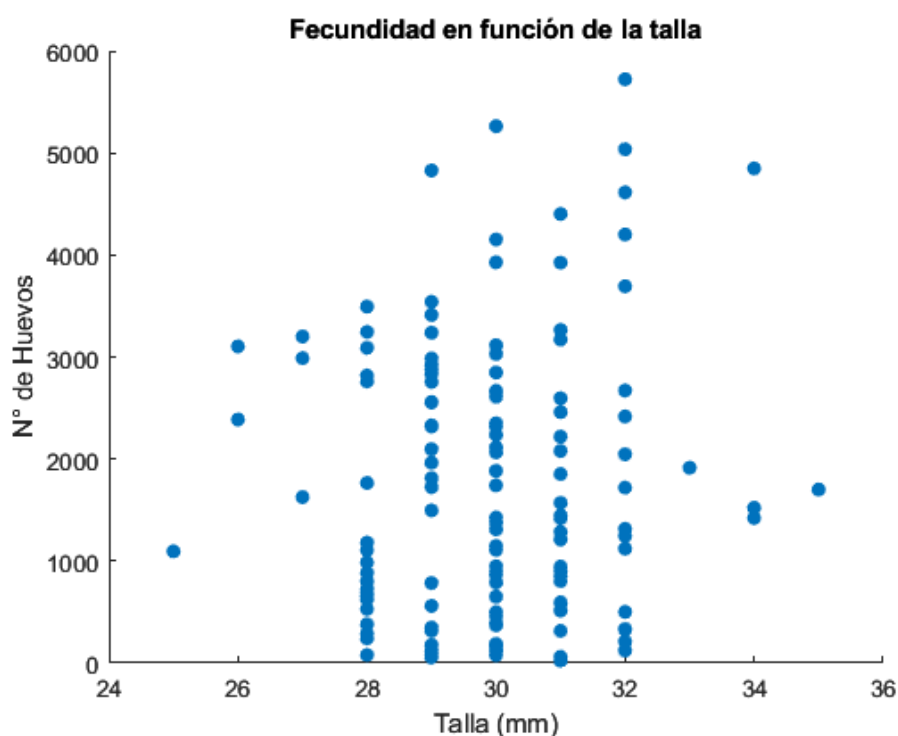


Figura 15: Relación entre la fecundidad, expresada como el número de huevos, y la longitud cefalotorácica de *Allopetrolisthes punctatus*.

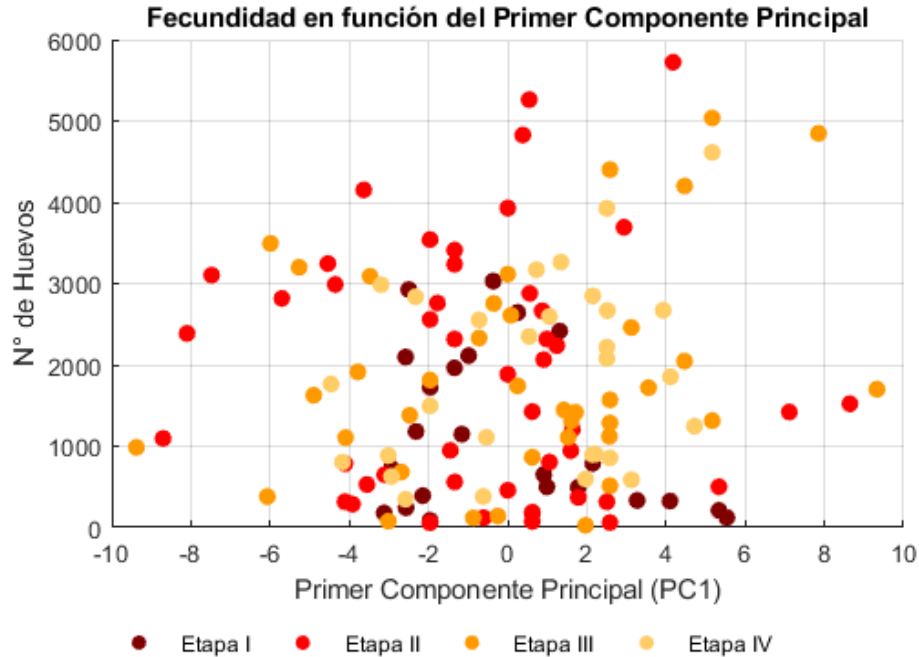


Figura 16: Relación entre la fecundidad, en número de huevos y el primer componente principal (PC1) de la morfometría en *Allopetrolisthes punctatus*. En el eje x, los valores de PC1 representan la variabilidad morfométrica de los individuos, mientras que en el eje y se muestra el número de huevos producidos por hembra. Los puntos están clasificados en cuatro categorías de desarrollo embrionario (I, II, III, IV), diferenciadas por tonalidades de color.

Descripción de las etapas del desarrollo embrionario

Etapa I

Los huevos presentan una forma redondeada de color rojo intenso homogéneo, cubierto por una membrana transparente. En esta fase, el vitelo está completo y sin mayor absorción, conteniendo una alta concentración de pigmento y nutrientes, por eso su color rojo intenso. En este estadio temprano, el embrión inicia su diferenciación celular, por lo que aún no presenta estructuras como ojos o el abdomen. Los huevos presentan una consistencia firme y resistente, lo que dificulta su ruptura. Además, permanecen fuertemente unidos en forma de racimo mediante un filamento adhesivo, secretado por la hembra para mantenerlos adheridos a los pleópodos (**Figura 17**).

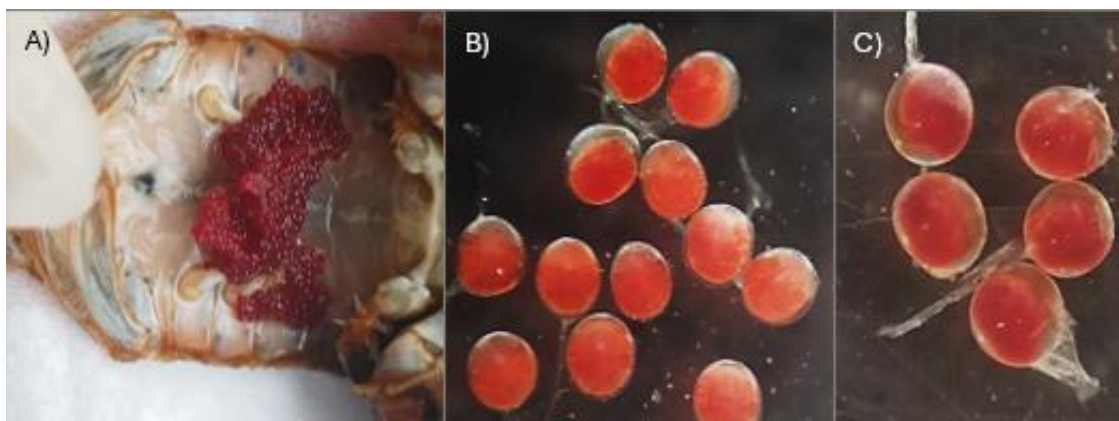


Figura 17: A) Fotografía de masa de huevos en pleópodos de una hembra de *Allopetrolisthes punctatus*, B) y C) fotografías de huevos en estado temprano.

Etapa II

Los huevos mantienen su forma redondeada, pero el color cambia a rojo anaranjado debido al inicio del consumo del vitelo. En esta etapa se forman los primeros órganos y se comienza a definir el abdomen, que aparece como un parche alargado en un extremo del huevo, terminando en la región donde luego se formará el telson.

El desarrollo ocular también inicia, aunque en esta fase los ojos aún son poco perceptibles y luego irán tomando una forma alargada (**Figura 18**).

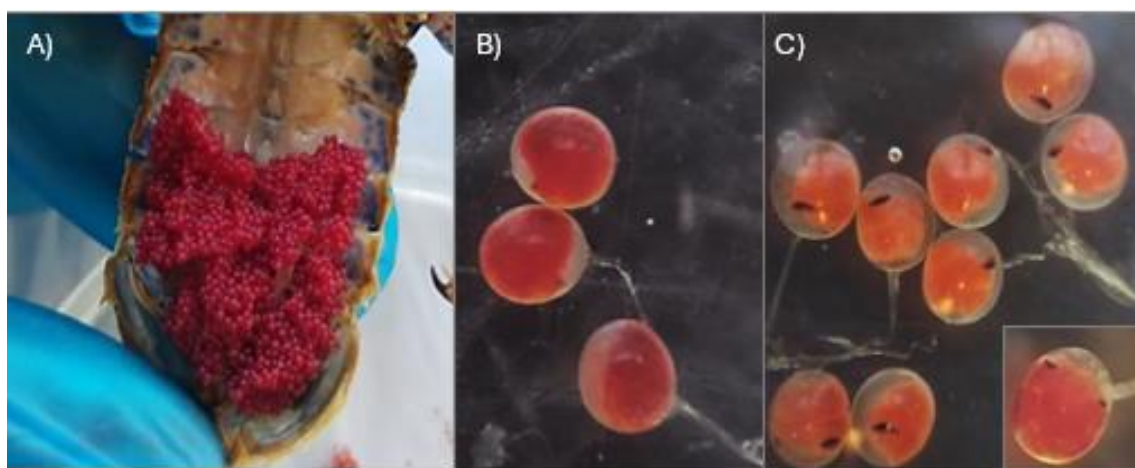


Figura 18: A) Fotografía de masa de huevos en pleópodos de la hembra, B) huevos con formación de ojos y abdomen, y en C) huevos con ojos alargados y abdomen en formación a un costado.

Etapa III

Los huevos mantienen su forma redondeada, pero presentan una tonalidad naranja más clara, debido a la notable reducción del vitelo dentro del huevo. A través de la membrana del huevo, el embrión es más visible y muestra un mayor desarrollo. En esta etapa, los ojos del embrión son más evidentes, adquiriendo una forma ovalada, la cual progresivamente se volverá más esférica. El abdomen está formado; y los apéndices embrionarios están casi totalmente desarrollados (Figura 19).

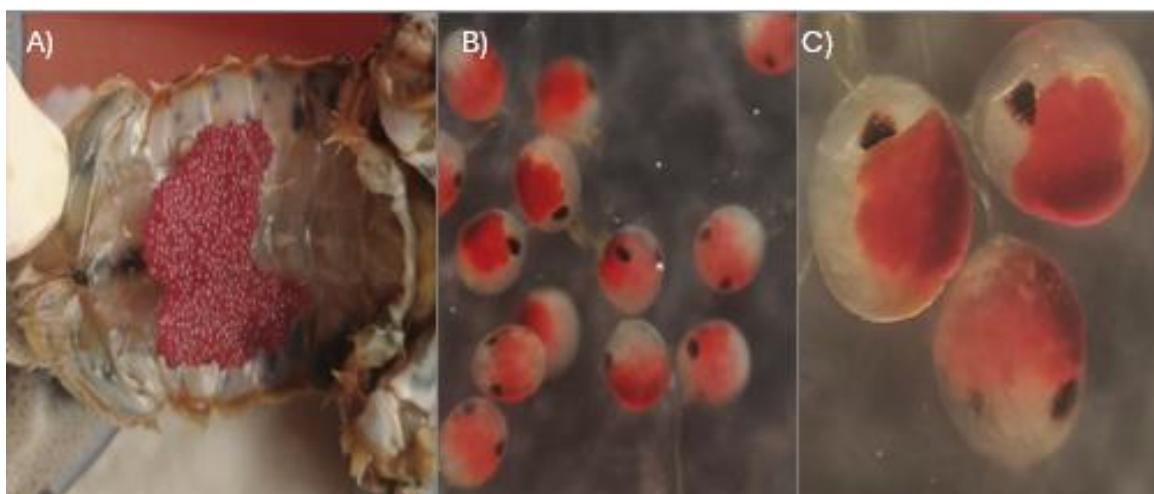


Figura 19: A) Fotografía de masa de huevos en pleópodos de una hembra de *Allopetrolisthes punctatus*, B) y C) fotografías de huevos en estado medio-tardío.

Etapa IV

Los huevos mantienen su forma redondeada, pero ahora presentan poca o nula pigmentación naranja, debido a la absorción casi completa del vitelo. La membrana del huevo se vuelve más delicada y se rompe con facilidad, indicando que los embriones están listos para la eclosión. En esta fase, los ojos del embrión están formados, al igual que el abdomen y los apéndices, en la región ventral, debajo del abdomen. Además, el cefalotórax ya presenta sus espinas rostro posteriores, y comienzan a aparecer los cromatóforos. En esta etapa también se produce la liberación de las primeras pre-zoeas (**Figura 20**).

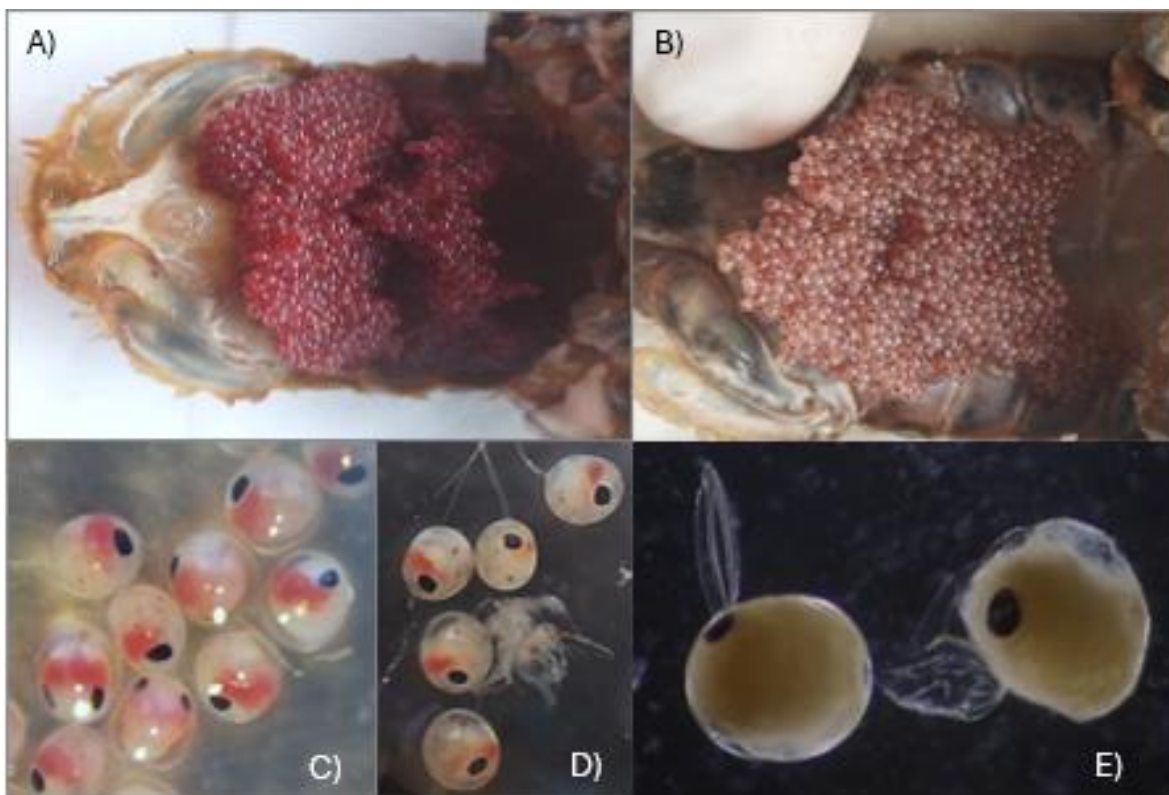


Figura 20: A) fotografía de masa de huevos en pleópodos de una hembra de *Allopetrolisthes punctatus*, B) fotografías de huevos en estado tardío ya en proceso de eclosión.

Cultivo larval preliminar.

Este experimento consistió a un cultivo preliminar de corto periodo (cinco días), con el objetivo de evaluar las condiciones de eclosión y desarrollo temprano de las larvas, sin considerar las fases más avanzadas como Zoea II y megalopa, que serán abordadas en un futuro estudio.

Primera eclosión:

Ocho días después de la recolección de los ejemplares, se registró la primera eclosión con un total de 279 larvas, de las cuales se fijaron 179 prezoas y 100 fueron destinadas al cultivo. Sin embargo, este cultivo se perdió al día siguiente debido a la presencia de protozoos en el agua, lo que indicó la necesidad de optimizar el sistema de filtrado. Como resultado, 54 larvas de zoeas I que fueron encontradas muertas se fijaron en alcohol al 70% para su posterior análisis descriptivo.

A pesar de esta pérdida, este proceso permitió adquirir experiencia en la preparación y el mantenimiento del cultivo, optimizando la obtención de nauplius de *Artemia salina* y mejorando el ajuste del protocolo de filtrado manual del agua. Se implementó un nuevo método que combinó tratamiento con luz UV seguido de filtrado a 0.22 micras, asegurando una mayor calidad del agua y reduciendo el riesgo de contaminación por protozoos en futuros cultivos larvales.

Segunda eclosión:

Dos días después, hubo una segunda eclosión con 171 larvas. Se implementó un protocolo de alimentación con nauplius recién eclosionados y un recambio diario del agua, lo que permitió mantener el cultivo sin contaminación durante el resto del experimento.

Se fijaron 56 larvas zoea I para análisis, mientras que 115 larvas fueron mantenidas en cultivo y monitoreadas a lo largo de los cinco días. A lo largo del experimento, se registró una alta mortalidad, reduciendo la muestra a 9 zoeas I al finalizar el quinto día.

El estado de pre-zoea tuvo una duración aproximada de 4 a 6 horas antes de la metamorfosis a Zoea I. No se registraron larvas en el estado de Zoea II, lo que se alineó con las expectativas del estudio, ya que se enfocó en un cultivo preliminar sin la intención de alcanzar estadios más avanzados. En total, se obtuvieron alrededor de 450 eclosiones, de las cuales 179 prezoas y 143 zoeas I fueron conservadas en etanol al 70% para su posterior análisis y descripción morfológica.

Descripción morfológica de estadios larvales.

Prezoea

Talla-LC = 0.99 ± 0.15 mm (N=10)

Descripción General: La larva presenta un cefalotórax ovalado, con la espina rostral y las espinas posteriores curvadas ventralmente (**Figura 21 B-C**). Los maxilípedos I y II están poco desarrollados y envueltos en una membrana embrionaria, al igual que el telson. El abdomen consta de 5 somitos articulados y termina en un telson de forma triangular con un borde distal cóncavo. En su extremo, se observan 10 setas organizadas en 2 grupos simétricos de 5 setas a cada lado, separadas en la parte central. Además, en las esquinas laterales del

telson se encuentra una espina de menor tamaño en cada lado. Justo encima del telson se encuentra el último somito abdominal, el cual presenta un par de espinas laterales en la región distal.

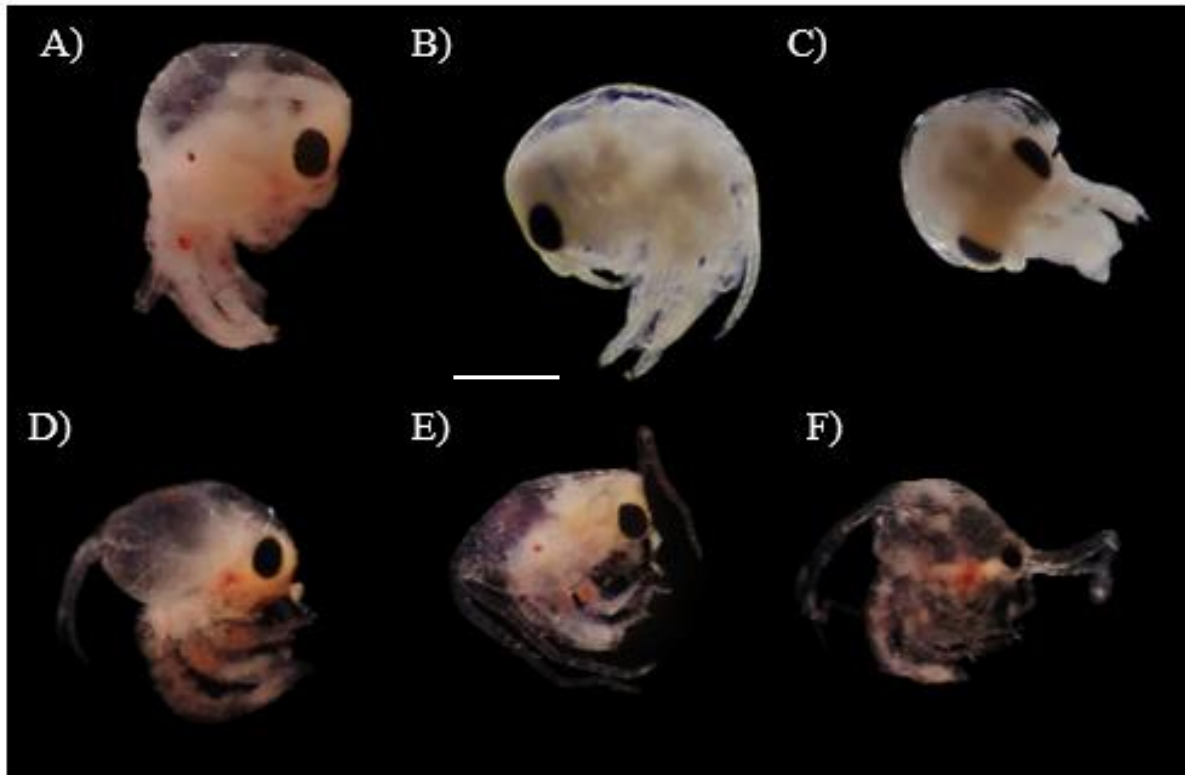


Figura 21: Secuencia fotográfica del proceso de metamorfosis de una larva en estado de prezoea hacia zoea I. La escala corresponde a larva en estado de prezoea mostrada en B (0.5 mm). En la primera fila (A-C), la larva recién eclosionada, aún conserva su membrana embrionaria y muestra una morfología compacta con los apéndices poco diferenciados. En la segunda fila (D-F), la larva comienza a desprenderse de la membrana embrionaria, permitiendo la extensión progresiva de sus apéndices y estructuras corporales. En la última imagen (F), aunque la larva ha avanzado en su transformación, aún no ha completado la transición a zoea I, ya que sus apéndices siguen parcialmente retraídos y no ha adquirido completamente la morfología típica de este estadio.

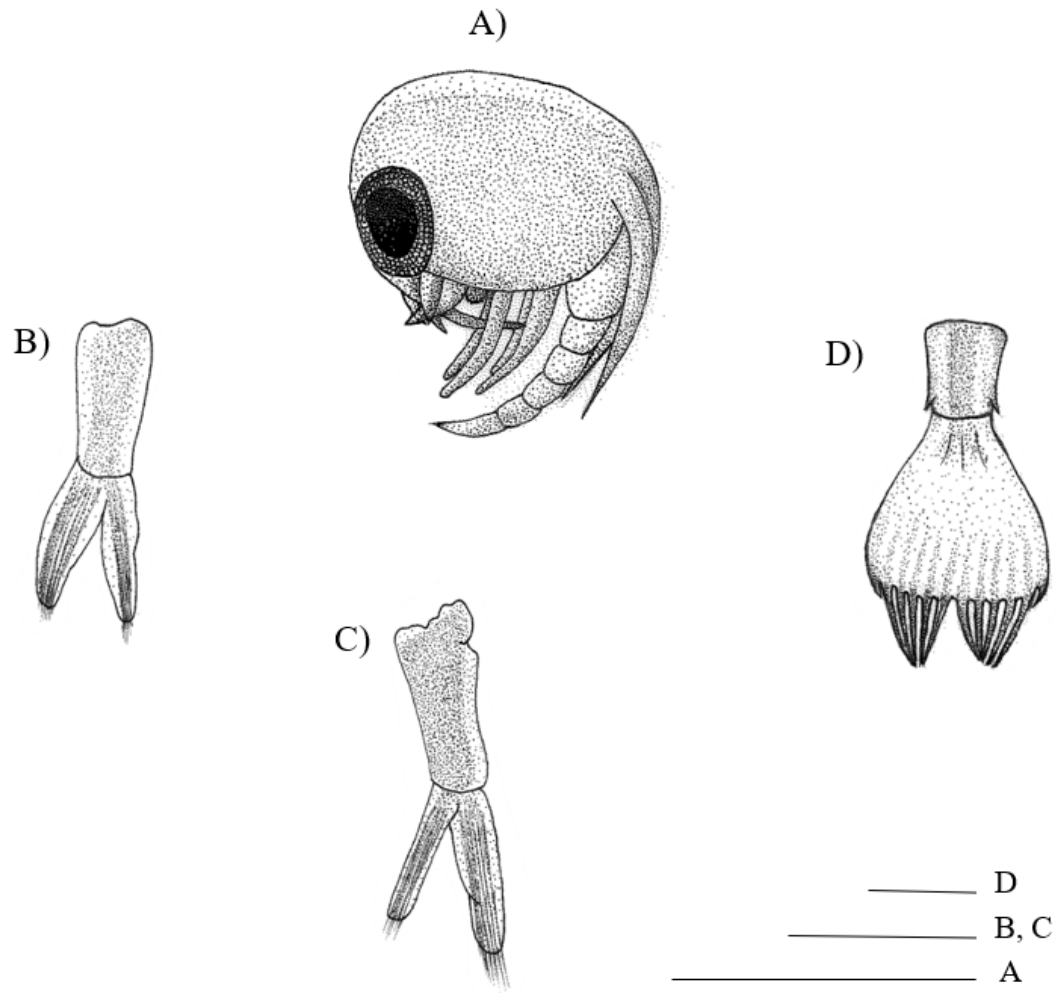


Figura 22: *Allopetrolisthes punctatus*. A) Prezoea, B) Primer maxilípedo, C) Segundo maxilípedo, D) Telson.
Escala de barra = 1 mm

Zoea I

Talla-LC = 1.89 ± 0.29 mm (N=20)

Descripción general = La larva ha perdido completamente la cutícula embrionaria, lo que le permite mayor movilidad y funcionalidad de los apéndices. El cefalotórax es más alargado en comparación con la prezoa, con una espina rostral prominente y rígida que presenta setas en su largo al igual que las espinas posteriores (**Figura 23**). Los maxilípedos I y II están formados y funcionales, permitiendo alimentar a la larva activamente. Se observan antenas y anténulas diferenciadas, ambas provistas de setas. El abdomen está compuesto por 5 somitos abdominales, articulados entre sí. En el último somito abdominal, antes del telson, se ubican espinas laterales de pequeño tamaño. El telson presenta una morfología más compleja, con un borde distal bien definido, provisto de 10 setas largas, cada una con múltiples ramificaciones finas que le confieren una apariencia plumosa. Las setas se distribuyen continuamente al final del telson, con las dos setas centrales en forma de horquilla. Además, en los extremos del telson se distinguen espinas laterales adicionales de menor tamaño.



Figura 23: Fotografías de larvas de *A. punctatus* en estado de Zoea I.

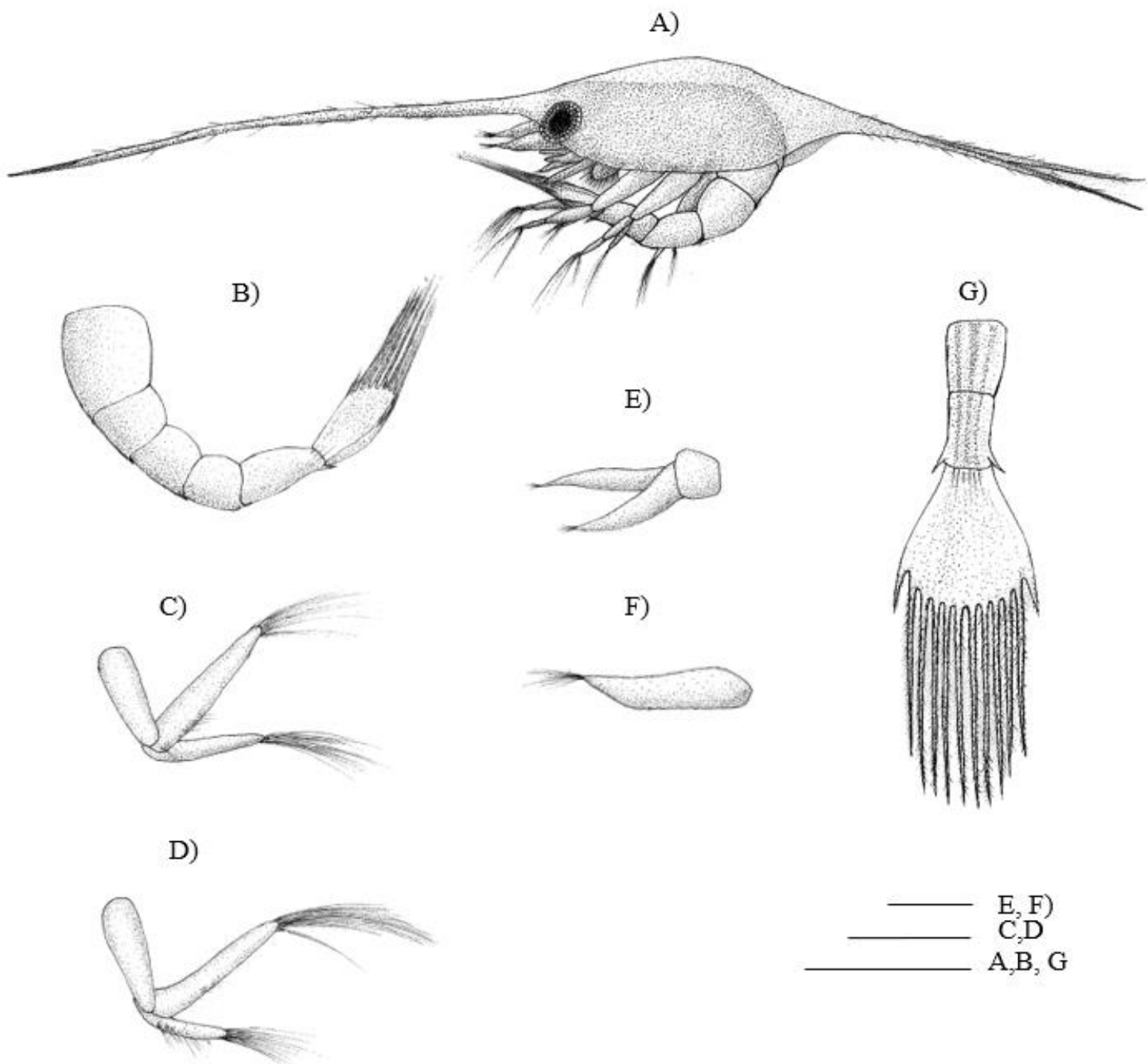


Figura 24: *Allopetrolisthes punctatus*. A) Zoea I, B) Abdomen, C) Primer maxilípido, D) Segundo maxilípido, E) Antena, F) Anténula, G) Telson. Escala de barra = 1 mm

Discusión

Comportamiento social y reproductivo

Las agregaciones de *Allopetrolisthes punctatus* observadas en este estudio confirman un comportamiento altamente gregario, donde los individuos mantienen contacto directo entre sí, formando apilamientos en los que las hembras ovígeras se posicionan predominantemente en el fondo. Cuando estas agregaciones fueron perturbadas, los individuos tendieron a reorganizarse rápidamente, recuperando su disposición original en poco tiempo. Sin embargo, la remoción de hembras ovígeras alteró significativamente esta dinámica, ya que los individuos permanecieron dispersos por alrededor de dos horas antes de intentar reorganizarse nuevamente. Esto sugiere que la presencia de hembras ovígeras podría desempeñar un papel clave en la cohesión y estabilidad de los grupos, posiblemente actuando como un estímulo social o químico que favorece la formación de agregaciones, lo que podría indicar un comportamiento de protección o jerarquía dentro de la población.

Este patrón de comportamiento es inusual dentro de la familia Porcellanidae, donde la mayoría de las especies habitan grietas y refugios protegidos (Werding, 1983). La proximidad constante entre individuos podría estar asociada con una estrategia para reducir el riesgo de depredación y optimizar las condiciones ambientales para la reproducción y el reclutamiento larval (Viviani & Werding, 2010). Además, la actividad reproductiva de *A. punctatus* se mantiene a lo largo de todo el año, con un incremento en la proporción de hembras ovígeras durante febrero y un aumento general en la reproducción en invierno (Retamal & Santa-Cruz, 2018). Esto refuerza la idea de que la formación de agregaciones podría estar sincronizada con los ciclos reproductivos, maximizando la supervivencia larval y el éxito reproductivo de la especie.

Otra posible razón detrás de este comportamiento gregario es la disponibilidad de flujo de agua y alimento en la columna de agua, ya que *A. punctatus* se alimenta mediante filtración. La agregación en espacios abiertos y expuestos al flujo de agua podría permitir un acceso más eficiente a partículas en suspensión, optimizando la adquisición de nutrientes. Además, se observaron interacciones agresivas entre individuos, especialmente entre machos de mayor tamaño y machos más pequeños, lo que sugiere la existencia de competencia intraespecífica por espacio y acceso a las hembras reproductivas. También se registró un caso

de canibalismo, lo que indica que, aunque el alimento puede ser abundante, los conflictos por recursos pueden generar dinámicas sociales complejas, especialmente en condiciones de alta densidad.

Dimorfismo sexual y morfometría.

El análisis morfométrico de *A. punctatus* reveló importantes diferencias entre machos y hembras, destacándose especialmente las estructuras del cefalotórax, abdomen y quelípedos. En los machos, los quelípedos derechos fueron de mayor tamaño en comparación con el izquierdo, un rasgo común en otros decápodos y vinculado a la competencia intraespecífica, la defensa territorial y la manipulación de presas (Wehrtmann & Báez, 1997). Este dimorfismo en los quelípedos probablemente juega un papel crucial en las interacciones sociales y la defensa de refugios. En cambio, las hembras mostraron un abdomen proporcionalmente más ancho, adaptado para la incubación de huevos, una característica común en especies ovígeras (Vela & Gonzalez- Gordillo, 2016). Esta diferencia en el abdomen está asociada a la capacidad reproductiva de las hembras, ya que un abdomen más grande proporciona un mayor espacio para almacenar los huevos.

Los resultados del análisis de componentes principales (PCA) demostraron que existen diferencias marcadas entre hembras y machos de *A. punctatus*, lo que sugiere que la estructura corporal de cada sexo está adaptada a funciones específicas. El PCA conjunto de machos y hembras, reveló que el 73.5% de la variabilidad total está explicada principalmente por las dimensiones del abdomen, tanto en longitud como en ancho. Estas características fueron las principales responsables de las diferencias morfológicas entre sexos, un hallazgo consistente con los resultados obtenidos en el análisis individual para las hembras, donde el abdomen también se destacó como una característica clave. Este resultado resalta la importancia del abdomen en la morfología de las hembras, probablemente asociado con su capacidad reproductiva, dado que un abdomen más grande proporciona mayor espacio para la incubación de los huevos.

Por otro lado, el 22.95% de la variabilidad se explicó por la relación inversa entre las dimensiones del abdomen y el cefalotórax. Este componente indica que las diferencias morfológicas entre sexos están más asociadas con el tamaño relativo del cefalotórax en relación con el abdomen. El tamaño del cefalotórax parece relacionado inversamente con el

tamaño del abdomen, sugiriendo que machos y hembras presentan configuraciones diferentes en sus dimensiones corporales, posiblemente según sus roles ecológicos y reproductivos.

El análisis conjunto de componentes principales (PCA) muestra una clara separación entre sexos. Los machos presentan un abdomen más pequeño en comparación con las hembras. Esta diferencia resalta la priorización reproductiva en las hembras, dado que un abdomen más grande les proporciona mayor capacidad para almacenar y portar huevos.

En cuanto a la relación entre cefalotórax y abdomen, los resultados revelaron un patrón claro de dimorfismo sexual. Las hembras presentan un abdomen más grande y un cefalotórax relativamente más pequeño en comparación con los machos. Este patrón podría estar adaptado para optimizar la incubación de huevos, ya que un abdomen más grande ofrece más espacio para almacenar los huevos, lo que es crucial para la reproducción en *A. punctatus*. Algunas hembras tienen un abdomen más largo y un cefalotórax más pequeño, lo cual parece estar optimizado para la incubación de huevos, mientras que otras presentan un abdomen más corto y un cefalotórax relativamente más grande, posiblemente asociado con otras funciones, como la movilidad o la estabilidad estructural.

En contraste, los machos presentan una mayor variabilidad en ambas estructuras, lo que sugiere que podrían estar adaptados a diferentes estrategias ecológicas, como la competencia intraespecífica o la movilidad. Esta mayor variabilidad podría estar asociado con la necesidad de los machos de competir por recursos, defender refugios o maximizar su capacidad de desplazamiento en el ambiente, factores clave para su éxito reproductivo.

En general, los resultados muestran que la variabilidad morfológica en *A. punctatus* responde a diferencias funcionales entre sexos, donde las hembras priorizan estructuras relacionadas con la reproducción, mientras que los machos presentan variaciones asociadas a estrategias de competencia y movilidad.

Fecundidad y variabilidad entre localidades.

Los patrones reproductivos observados en *A. punctatus* sugieren una alta fecundidad y una reproducción continua a lo largo del año, lo que favorece la dispersión y reclutamiento larval en hábitats dinámicos (Viña *et al.*, 2018; Santa Cruz & Retamal., 2018). En este estudio, el número máximo de huevos por hembra fue de 5722, lo que es consistente con estrategias que

favorecen la producción masiva de descendencia para compensar tasas de mortalidad larval elevadas caracterizando *A. punctatus* como una especie estratega r (Viña *et al.*, 2018). Sin embargo, la fecundidad total en Punta Los Lunes se tiene una gran diferencia con la fecundidad reportada para Chome. Ya que, en este estudio, se obtuvo una fecundidad mucho menor en totalidad de huevos. La diferencia en la fecundidad puede ser causadas por varias razones.

La diferencia puede ser causada por la variabilidad natural entre diferentes poblaciones o localidades de la misma especie. Factores como el entorno local, la disponibilidad de recursos y las condiciones del hábitat pueden influir en la fecundidad de las hembras. Es posible que las hembras en Chome se encuentren en un ambiente con mejores condiciones para el desarrollo de los huevos, lo que puede llevar a una mayor producción de huevos.

Las condiciones ambientales y la nutrición juegan un papel crucial en la fecundidad. Si las hembras en Chome están expuestas a un ambiente más productivo o tienen acceso a una mejor fuente de alimento, como por ejemplo plancton o detritos en mayor cantidad, es posible que esto influya en su capacidad de producir más huevos. Las condiciones como la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes disponibles pueden variar entre las zonas y afectar la producción de huevos, además de diferencias en la edad y el tamaño de las hembras también podrían influir en la fecundidad.

Al comparar los resultados (Santa Cruz & Retamal, 2018) con los obtenidos para la misma especie en caleta Chome, se observó una mayor variabilidad en la relación fecundidad-tamaño en Punta Los Lunes. Esta dispersión en los valores de fecundidad sugiere que, además del tamaño, otros factores pueden influir en la fecundidad, tales como:

- Pérdida de huevos durante la incubación, por procesos mecánicos.
- Diferencias en condiciones ambientales (e.g. Oxígeno disuelto, alimento) que puedan causar estrés y afectar el gasto metabólico en reproducción.

Sin embargo, en este estudio no se midieron estas variables, por que resultaría, de gran interés incluir este tipo de mediciones en futuros estudios, para comprender mejor las diferencias observadas entre localidades.

Estudios previos han demostrado que la plasticidad larval y la influencia de factores ambientales, como la temperatura, pueden afectar la supervivencia y dispersión larval en decápodos (Baldanzi et al., 2020), lo que refuerza la importancia de la reproducción constante de *A. punctatus* como una posible estrategia adaptativa en ambientes fluctuantes.

Fecundidad de *A. punctatus* en Punta Los Lunes vs Chome.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que la relación entre fecundidad y tamaño de *A. punctatus* es más variable de lo que sugiere la curva de fecundidad reportada previamente para Caleta Chome por Santa Cruz & Retamal (2018). En dicho estudio se observó que la fecundidad aumentaba exponencialmente con el tamaño, con número de huevos que variaron de 164 y más de 8 mil. En el presente estudio se observó una mayor dispersión en la fecundidad, lo que sugiere que otros factores, además del tamaño corporal, podría influir en la capacidad de huevos producidos por cada hembra ovígera.

En Chome, las hembras ovígeras presentaron tamaños entre 16.6 y 36.9 mm de longitud de cefalotórax, con la más pequeña y grande portando 164 huevos y 8,741 huevos respectivamente. En contraste, en este estudio, el rango de tamaño fue entre 25 y 35 mm, con valores de fecundidad que oscilaron entre 27 y 5722 huevos. Se destaca que la menor cantidad de huevos se encontró en una hembra de 31 mm con solo 27 huevos, mientras que la mayor fecundidad se observó en una hembra de 32 mm con 5722 huevos. Esto sugiere la influencia de otros factores antes o durante la portación de huevos.

Uno de los aspectos clave en este estudio fue la clasificación de las hembras según el estadio de desarrollo embrionario en los huevos que portaban, lo que permitió evidenciar diferencias en la resistencia de los huevos. Se observó que los huevos en estadios tempranos (I y II) eran más resistentes a la manipulación, mientras que aquellos en estadios avanzados (III y IV) eran más frágiles y susceptibles a daño mecánico. Esto sugiere que las hembras podrían perder huevos durante la incubación debido a compresiones abdominales destinadas a proteger la masa de huevos en condiciones de estrés elevado.

Las mayores fecundidades se encontraron en hembras con estadios II y IV, con tamaños entre 25 y 34 mm, lo que sugiere que el tamaño corporal por sí solo no es un buen predictor de la fecundidad en esta especie.

Dado que *A. punctatus* se reproduce de manera continua a lo largo del año (**Figura 25**), es probable que una misma hembra atravesase varios ciclos reproductivos en un periodo corto de tiempo, lo que genera variaciones en la fecundidad observada en distintos momentos del ciclo reproductivo. No se conoce con exactitud la duración del proceso completo de incubación y liberación de larvas, pero se observó que muchas hembras sin huevos presentaban características morfológicas en los pleópodos similares a aquellas recién ovígeras, lo que podría indicar la existencia de un periodo de reposo reproductivo antes de iniciar una nueva puesta.

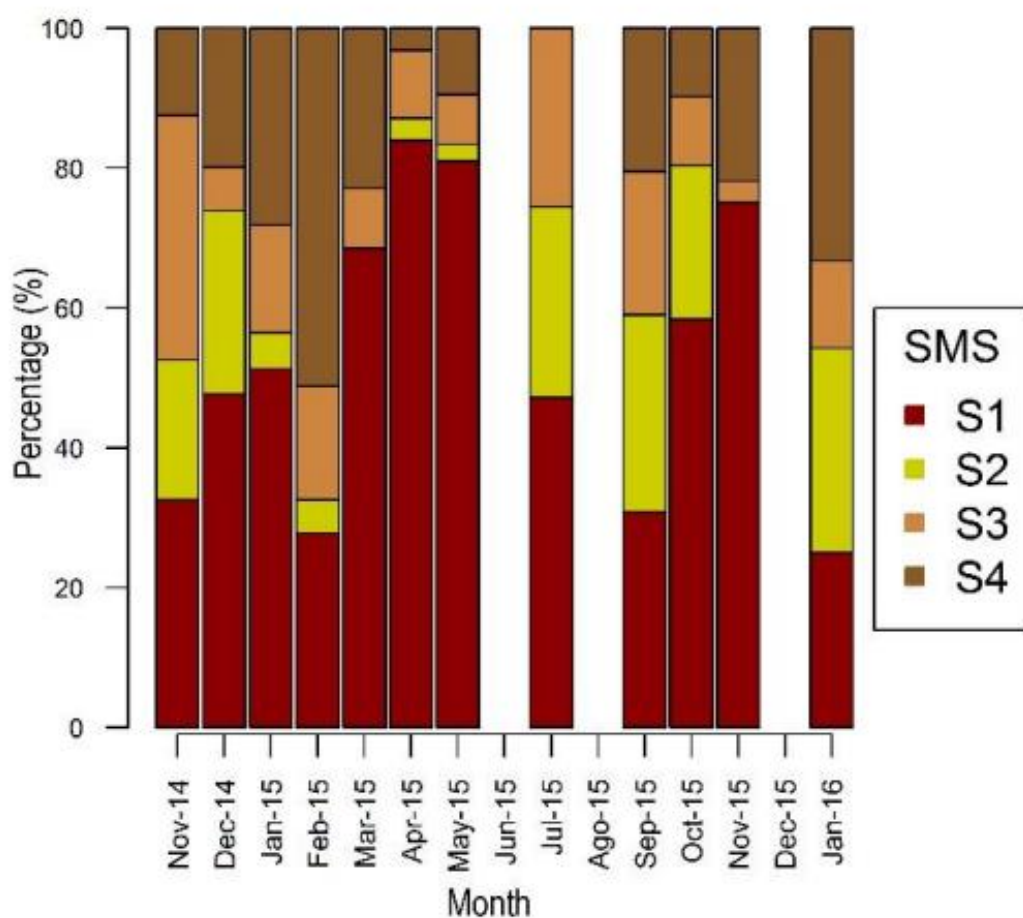


Figura 25. Proporción de los estados de madurez sexual (SMS) en hembras de *Allopetrolisthes punctatus* en Chome, desde noviembre 2014 hasta febrero 2016. Se presentan cuatro estados de madurez: S1(inmaduro), S2 (madurez temprana), S3 (madurez avanzada), S4 (Ovígeras), mostrando variaciones temporales en la población a lo largo del periodo de estudio. Extraído de Santa Cruz & Retamal (2018).

En este estudio se registraron 354 hembras en total, de las cuales 137 eran ovígeras, todas con sus pleópodos oscuros con restos de filamentos adhesivos y membranas embrionarias. Por otro lado, 217 hembras no ovígeras presentaron diferencias en la coloración de sus pleópodos (**Figura 26**).

- 121 tenían pleópodos claros y limpios, sin indicios de haber portado huevos recientemente.
- 96 tenían pleópodos oscuros, lo que sugiere que estas últimas podrían haber portado huevos que eclosionaron recientemente.



Figura 26: Comparación del estado de los pleópodos en hembras de *Allopandalus punctatus*. A la izquierda, hembra con pleópodos oscuros, lo que indica una reciente incubación de huevos y la presencia de setas ovígeras con restos embrionarios. A la derecha, hembra con pleópodos claros, sin indicios visibles de haber estado ovígera recientemente. Estas diferencias sugieren la existencia de ciclos reproductivos en la especie, donde las hembras pueden alternar periodos de incubación y descanso reproductivo, ya que incluye todos los rangos de talla, tanto para hembras ovígeras como para las no ovígeras dentro del estudio.

Este hallazgo refuerza la idea de que las hembras de *A. punctatus* pueden alternar periodos de incubación con etapas de descanso reproductivo, lo que contribuye a la variabilidad en la fecundidad observada. Además, la presencia de pleópodos oscuros con filamentos residuales en hembras no ovígeras indica que estas estructuras podrían persistir después del desove, sugiriendo la posibilidad de múltiples ciclos reproductivos dentro de una misma temporada.

En decápodos, se ha descrito que las hembras desarrollan setas ovígeras especializadas en los pleópodos, cuya función es sujetar la masa de huevos durante la incubación (Petriella &

Boschi, 1997). Estas estructuras aparecen después de la fecundación y persisten hasta la muda final luego del último desove en especies de climas templados. En este estudio la presencia de pleópodos oscuros con restos de filamentos en hembras no ovígeras sugiere que estas setas pueden persistir incluso después del desove, indicando que *A. punctatus* podría completar múltiples ciclos reproductivos sin necesidad de mudar entre ellos.

Durante la época reproductiva, se ha descrito que los pleópodos pueden desarrollar setas suplementarias plumosas y pectinadas, cuya función es mantener la cámara incubadora protegida y cerrada (Petriella & Boschi, 1997). La persistencia de estas estructuras en hembras que ya han desovado respalda la idea de que los pleópodos oscuros observados en este estudio representan setas ovígeras en distintos estados de degradación tras la eclosión de los huevos, lo que podría ser un marcador útil para identificar ciclos de reproducción en esta especie.

Otro factor clave en esta variabilidad es la pérdida mecánica de huevos durante la incubación, aspecto que no fue considerado o que puede no haber sido un factor importante en el estudio de Chome. La mayor fragilidad de los huevos en estadios avanzados (III y IV) sugiere que las hembras pueden experimentar una pérdida parcial de huevos debido a factores mecánicos. Este fenómeno podría explicar la dispersión en la fecundidad observada en hembras con huevos en diferentes estadios de desarrollo.

En este estudio, la fecundidad se determinó mediante un conteo manual directo y verificado de 137 hembras ovígeras, mientras que en Chome se estimó a partir de 36 hembras ovígeras, utilizando un método gravimétrico, donde submuestras de la masa de huevos pesados y contados, extrapolando el número total de huevos en función del peso total de la masa ovígera.

Estos resultados sugieren que la fecundidad en *A. punctatus* es un proceso dinámico que podría estar influenciado no solo por la talla, sino también por factores reproductivos y ambientales, como la frecuencia de reproducción, la historia reproductiva de cada hembra, la pérdida de huevos en estadios avanzados y variables ambientales como la temperatura, el oxígeno y la disponibilidad de alimento.

A diferencia del estudio de Chome, donde la fecundidad parecía ligada a la talla, este análisis muestra que la relación es más compleja y que la variabilidad observada reflejaría una mayor variedad de estrategias reproductivas de la especie. Además, las diferencias entre ambas localidades podrían estar influenciadas por factores ambientales e hidrográficos, como la presencia de un cañón submarino cerca de Chome o el impacto de la contaminación en Punta Los Lunes, ubicada en la Bahía de Quintero, una zona con antecedentes de alteraciones ambientales debido a las emanaciones industriales y la presencia de diversos contaminantes que han llevado a la designación como “zona de sacrificio ambiental” (Céspedes & Rueda, 2019; Bravo *et al.*, 2021)). Lo anterior resalta la importancia de considerar múltiples factores en los estudios de fecundidad y plantea la necesidad de investigaciones futuras que incluyan un seguimiento temporal de hembras ovígeras a lo largo del año, para evaluar la duración de los ciclos reproductivos y los posibles periodos de reposo entre desove. Además, estudios experimentales sobre la pérdida de huevos en diferentes estadios de desarrollo podrían proporcionar información clave sobre la fecundidad real en esta especie.

Conclusiones

El presente estudio aporta nuevos antecedentes sobre la biología reproductiva, comportamiento y variabilidad morfológica de *Allopetrolisthes punctatus*, proporcionando una visión integral sobre la especie estudiada en Punta Los Lunes, región de Valparaíso y comparándola con registros previos de Caleta Chome, región del Biobío.

A. punctatus exhibe un comportamiento altamente gregario, formando agregaciones en las cuales las hembras ovígeras se posicionan predominantemente en la parte inferior. La presencia de hembras parece jugar un rol clave en la cohesión del grupo, probablemente por un estímulo visual o químico que favorece la estabilidad de las agregaciones, lo que podría estar vinculado a estrategias de protección, reproducción o competencia intraespecífica.

Se evidenció un marcado dimorfismo sexual en la especie, donde los machos presentaron quelípedos de mayor tamaño en comparación con las hembras, mientras que las hembras mostraron un abdomen proporcionalmente más grande, optimizado para la incubación de los huevos. Los análisis de componentes principales (PCA) reflejaron diferencias en la estructura corporal entre sexos. En hembras, la longitud del abdomen fue el factor predominante en la variabilidad morfológica, mientras que, en los machos, el cefalotórax presentó mayor influencia, lo que sugiere adaptaciones estructurales diferenciadas para la reproducción en hembras y para la competencia en machos.

Se reveló que *A. punctatus* presenta una alta variabilidad en la fecundidad individual, y una relación menos clara entre fecundidad y talla que la observada en otras localidades (Santa Cruz & Retamal., 2018). A diferencia de lo observado en Chome, donde la fecundidad se ajustó de manera exponencial al tamaño, en Punta Los Lunes se registró una mayor dispersión de los datos, indicando que otros factores, además del tamaño corporal, influyen en la producción de huevos. Entre estos factores se incluyen, la pérdida mecánica de huevos durante la incubación y variaciones ambientales como temperatura, oxígeno disuelto y disponibilidad de alimento.

El hallazgo de hembras no ovígeras con pleópodos oscuros y restos de filamentos adhesivos sugiere que estas estructuras pueden persistir después del desove, evidenciando la existencia de posibles múltiples ciclos reproductivos dentro de una misma temporada, sin necesidad de

mudar entre ellos, lo que constituye un rasgo poco documentado en porcelánidos y requiere más estudios en este aspecto.

Este estudio resalta la necesidad de investigaciones adicionales para comprender mejor la biología reproductiva de *A. punctatus*, que aborden aspectos como:

- Variabilidad en el tamaño de los huevos (además de número) en distintos estadios de desarrollo embrionario para mejorar las estimaciones de fecundidad en aspectos cuantitativos.
- Efectos de la variabilidad en condiciones ambientales y sobre la reproducción y mortalidad larval.
- Influencia del estrés fisiológico sobre la pérdida mecánica de huevos desde hembras ovigeras.

Los hallazgos obtenidos en este trabajo amplían el conocimiento sobre la ecología de *A. punctatus* y proporcionan un marco para futuras investigaciones sobre la dinámica poblacional de la especie en distintos entornos.

Referencias bibliográficas

1. Albornoz, L. & Wehrtmann, I.S. (1996) Aspects of the reproductive biology of *Petrolisthes laevigatus* (Guérin, 1835) (Decapoda, Anomura, Porcellanidae). Part II: Description of the larval development, including the first crab stage, cultivated under laboratory conditions. *Archive of Fishery and Marine Research*, 43 (2), 137–157
2. Báez, P., Palma, S. (2010). Larvas de Crustáceos Decápodos (Crustacea: Decapoda). *Bibliografía sobre Biodiversidad Acuática de Chile*. Comité Oceanográfico Nacional, Valparaíso, pp. 249-256.
3. Baldanzi, S., Storch, D., Fusi, M., Weidberg, N., Tissot, A., Navarrete, S. A., & Fernández, M. (2020). Combined effects of temperature and hypoxia shape female brooding behaviors and the early ontogeny of the Chilean kelp crab *Taliepus dentatus*. *Marine Ecology Progress Series*, 646, 93-107.
4. Barría, E. M., Jara, C. G., & Paschke, K. A. (2005). La temperatura como factor de variabilidad en el desarrollo y morfología de larvas zoeas de *Acanthocyclus hassleri* Rathbun (Decapoda, Brachyura, Atelecyclidae) cultivadas en laboratorio. *Investigaciones Marinas*, 33(1), 25-41.
5. Bravo, Francisco; Acuña, Maria Paz; Bernal, Patricio; Hodge, Jonathan; Hook, Sharon; Ocampo Melgar, Diego; Revill, Andy; Simpson, Stuart; Trebilco, Rowan; Claro, Edmundo (2021). Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero. Licitación MMA: O.C.608897-150-SE20. Informe Final. CSIRO Chile. Santiago, Chile.
6. Briones-Fourzán, P., & Hendrickx, M. E. (2022). Ecology and diversity of marine decapod crustaceans. *Diversity*, 14(8), 614.
7. Castilla, J.C., Paine, R.T., 1987. Predation and community organization of Eastern Pacific, temperate zone, rocky intertidal shores. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 60, 131–151.
8. Céspedes, F. L., & Rueda, H. R. (2019). Antecedentes y reflexiones sobre la zona de sacrificio de Quintero y Puchuncaví. *Cuadernos médico sociales*, 59(1), 21-31.
9. Fagetti, E. G. (1969). Larval development of the spider crab *Pisoides edwardsi* (Decapoda, Brachyura) under laboratory conditions. *Marine Biology*, 4(2), 160-165.

10. Fagetti, E. G. & Campodonico I. G. (1970). Desarrollo larval en el laboratorio de *Acanthocyclus gayi*. Milne Edwards & Lucas. (Crustacea Brachyura; Atelecyclidae, Acanthocyclinae). Revista Biología Marina, 14(2), 63-78.
11. Fagetti, E. G. (1973). Desarrollo larval en el laboratorio de *Homalaspis plana*. Milne-Edwards. (Crustacea Brachyura, Xanthidae). Ministerio de Pesquería N°30; 36-45.
12. Feser, F., Rockel, B., von Storch, H., Winterfeldt, J., & Zahn, M. (2011). Regional climate models add value to global model data: a review and selected examples. Bulletin of the American Meteorological Society, 92(9), 1181-1192.
13. Gebauer, P., Paschke, K., Moreno, C.A., 2007. Reproductive biology and population parameters of *Petrolisthes laevigatus* (Anomura: Porcellanidae) in southern Chile: consequences on recruitment. J. Mar. Biol. Assoc. U. K. 87, 729-734.
14. Gonzalez-Canales, M. E., Cuesta, J. A., & González-Gordillo, J. I. (2019). Larval development of *Petrolisthes tuberculatus* (Guérin, 1835) (Decapoda, Anomura, Porcellanidae) reared in laboratory. Zootaxa, 4623(2), 364–380. doi:10.11646/zootaxa.4623.2.10
15. Hernández, A. F. (2021). Patrones espaciales en el bento submareal y su relación con regímenes de variabilidad en condiciones oceanográficas en la costa de Chile Central. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias, mención Manejo de Recursos Acuáticos Renovables. Universidad de Concepción. 149pp.
16. Narváez, D. A., Poulin, E., Leiva, G., Hernández, E., Castilla, J. C., & Navarrete, S. A. (2004). Seasonal and spatial variation of nearshore hydrographic conditions in central Chile. Continental Shelf Research, 24(2), 279-292.
17. O'Connor, M. I., Bruno, J. F., Gaines, S. D., Halpern, B. S., Lester, S. E., Kinlan, B. P., & Weiss, J. M. (2007). Temperature control of larval dispersal and the implications for marine ecology, evolution, and conservation. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(4), 1266-1271.
18. Pardo, L. M., Véliz, D., Wehrtmann, I. S., & Anger, K. (1997). Efecto de períodos de ayuno en el crecimiento de la zoea I de *Petrolisthes violaceus* (Guérin, 1831) (Decapoda: Anomura: Porcellanidae). Investigaciones Marinas, 25, 255-262.

19. Petriella, A. M., & Boschi, E. E. (1997). Crecimiento en crustáceos decápodos: resultados de investigaciones realizadas en Argentina. *Investigaciones marinas*, 25, 135-157.
20. Latapiat, C. J. (2023). Variabilidad ambiental de corto periodo en la temperatura y oxígeno del agua de fondo en localidades de la costa de Chile Central. Tesis para optar al Título de Bióloga Marina. Universidad de Concepción.
21. Retamal, M. A., & Santa-Cruz, F. (2018). The larval development from prezoaea to megalopa and juvenile stages of *Allopetrolisthes punctatus* (Guérin, 1835) (Decapoda, Anomura, Porcellanidae). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(4), 820-824.
22. Retamal, M. A., & Moyano, H. I. (2010). Zoogeografía de los crustáceos decápodos chilenos marinos y dulceacuícolas. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 38(3), 302-328.
23. Roa, R., & Tapia, F. (2000). Cohorts in space: geostatistical mapping of the age structure of the squat lobster *Pleuroncodes monodon* population off central Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 196, 239-251.
24. Saelzer, H.E., Quintana, R. & Quiñones, R. (1986) Larval development of *Petrolisthes granulosus* (Guérin, 1835) (Decapoda, Anomura, Porcellanidae) under laboratory conditions. *Journal of Crustacean Biology*, 6 (4), 804–819. <https://doi.org/10.2307/1548393>
25. Santelices, B., Castilla, J. C., Canción, J., & Schmiede, P. (1980). Comparative ecology of *Lessonia nigrescens* and *Durvillaea antarctica* (Phaeophyta) in central Chile. *Marine Biology*, 59, 119-132.
26. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (2008). Langostino Colorado XI-IV Regiones (*Pleuroncodes monodon*) Ficha Pesquera. https://www.subpesca.cl/portal/616/articles-9201_documento.pdf
27. Stagg, C., & Whilden, M. (1997). The history of Chesapeake Bay's blue crab (*Callinectes sapidus*): fisheries and management. *Investigaciones Marinas*, 25(1), 93-104.

28. Tapia Jorquera, F., Castillo Silva, M. I., Wieters Buchanan, E. A., & Navarrete, S. (2014). Latitudinal Discontinuity in Thermal Conditions along the Nearshore of Central-Northern Chile.
29. Vargas, C. A., Narváez, D. A., Piñones, A., Venegas, R. M., & Navarrete, S. A. (2004). Internal tidal bore warm fronts and settlement of invertebrates in central Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61(4), 603-612.
30. Vargas, C. A., Manríquez, P. H., & Navarrete, S. A. (2006). Feeding by larvae of intertidal invertebrates: assessing their position in pelagic food webs. *Ecology*, 87(2), 444-457.
31. Vela, M. J., & González-Gordillo, J. I. (2016). Larval descriptions of the family Porcellanidae: A worldwide annotated compilation of the literature (Crustacea, Decapoda). *ZooKeys*, (564), 47.
32. Viña, N., Bascur, M., Guzmán, F., Riera, R., Paschke, K., & Urzúa, Á. (2018). Interspecific variation in the physiological and reproductive parameters of porcelain crabs from the Southeastern Pacific coast: potential adaptation in contrasting marine environments. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 226, 22–31. doi: 10.1016/j.cbpa.2018.07.006
33. Viña-Trillos, N., Guzmán-Rivas, F., & Urzúa, Á. (2021). The cascade of effects caused by emersion during early ontogeny in porcelain crabs of the Southeast Pacific coast: Biochemical responses of offspring. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 259, 111002.
34. Viviani, C., Hiller, A., & Werding, B. (2010). Swarming in open space in the rocky intertidal: a new population-settlement strategy in the Eastern Pacific porcellanid crab, *Allopetrolisthes punctatus* (Decapoda, Anomura, Porcellanidae). *Crustaceana*, 83(4), 435-442.
35. Wehrtmann, I.S., Albornoz, L., Veliz, D. & Pardo, L.M. (1996) Early developmental stages, including the first crab, of *Allopetrolisthes angulosus* (Decapoda: Anomura: Porcellanidae) from Chile, reared in the laboratory. *Journal of Crustacean Biology*, 16 (4), 730–747. <https://doi.org/10.1163/193724096X00801>
36. Wehrtmann, I.S., Albornoz, L., Pardo, L.M. & Veliz, D. (1997) The larval development of *Petrolisthes violaceus* (Guérin, 1831) (Decapoda, Anomura,

- Porcellanidae) from Chilean waters, cultivated under laboratory conditions. *Crustaceana*, 70, 562–583. <https://doi.org/10.1163/156854097X00681>
37. Wehrtmann, I. S., & Báez, P. (1997). Larvas y estadios tempranos de desarrollo de crustáceos decápodos de Chile: descripciones publicadas. *Investigaciones Marinas*, 25, 263-276.
38. Werding, B. (1983). Kommensalische Porzellaniden aus der Karibik (Decapoda, Anomura). *Crustaceana*, 25, 1-14.