



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



**Ciclo reproductivo y proporción sexual de langostino colorado
Pleuroncodes monodon (H. Milne Edwards, 1837) y langostino amarillo
Cervimunida johni Porter, 1903 en la zona centro sur de Chile.**

Néstor Soto Reyes
Seminario de Título presentado al
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
Para optar al Título de
BIOLOGO MARINO

Concepción – Chile
Agosto - 2023

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA

Este Seminario de Título ha sido realizado en el Departamento de Oceanografía de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas.

Profesor(a) Guía

Dr. Luis Cubillos Santander

Ha sido aprobada por la
Siguiete Comisión
Evaluadora

Dr. Leonardo Castro

MSc. Blanca Bustos Cid

MSc. Juan Antón Heredia

Jefe de Carrera

Dr. Ariel Valenzuela

Dedicatoria

Dedico este seminario de título a mis padres sin su inquebrantable apoyo, cariño y aliento esto no hubiese sido posible. Gracias por ser el pilar y sostén en cada paso del camino. Su amor incondicional y confianza fue la fuerza necesaria para superar cualquier obstáculo que se presentó durante este proceso.

A mis amigos, su amistad ha hecho que esta travesía sea aún más especial y significativa infinitas gracias por cada palabra de ánimo, cada abrazo reconfortante y cada palabra de aliento, han sido un calmante para el alma en momentos de desafío, cada página de este escrito lleva el eco de su aliento y confianza puesta en mí

Agradezco a la vida y Dios por haberme bendecido con una familia y amigos tan maravillosos, que han sido un pilar fundamental en todo este proceso.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mis queridos padres Maritza y Eduardo por su apoyo incondicional, amor y aliento a lo largo de toda mi formación académica.

También quiero extender mis agradecimientos al Dr. Luis Cubillos Santander por su valiosa contribución en el desarrollo de esta tesis el apoyo, orientación y conocimientos brindados han sido fundamentales en cada etapa de este proyecto de investigación. Agradezco sinceramente el tiempo dedicado a revisar y comentar este trabajo, así como sus valiosas sugerencias que han enriquecido significativamente la calidad de esta tesis.

Agradezco de manera especial a Don German Vásquez por su apoyo incondicional por sus palabras de aliento en los momentos difíciles, sin duda me ayudaron a mantenerme firme, a no rendirme y a enfocarme en lo verdaderamente importante. Tú dedicación y pasión por lo que haces ha sido un ejemplo a seguir, y sin duda ha dejado una huella perdurable en mi formación académica, me siento afortunado de haber tenido la oportunidad de aprender, conocer y crecer bajo su guía durante todo el tiempo que forme parte del laboratorio infinitas gracias amigo mío.

Asimismo, agradezco al Laboratorio de Evaluación de Poblaciones Marinas (EPOMAR) la oportunidad de llevar a cabo esta investigación y de haberme apoyado desde mis inicios infinitas gracias a cada uno de los integrantes de laboratorio por todo el apoyo y cariño brindado durante todo este tiempo.

Por último, y no menos importantes quiero dedicar un agradecimiento especial a dos personas que han sido pilares fundamentales en mi vida y en el desarrollo de esta tesis: queridos tío Pablo y tía Paty. Tío Pablo, gracias por estar siempre presente con tus consejos, aliento y apoyo incondicional. Agradezco cada una de tus palabras de aliento y tu confianza. Tía Paty, tu amor, cariño y cada palabra de aliento han sido un regalo invaluable durante todo este camino. Ambos, tío Pablo y tía Paty, han sido un equipo extraordinario que ha estado siempre a mi lado, brindándome su apoyo Agradezco de corazón su presencia en mi vida y el impacto positivo que han tenido en mi formación académica.

Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que, de alguna manera, contribuyeron a este proyecto amigos y familia cuyos nombres no aparece en estas líneas, pero que su apoyo ha sido esencial en este camino.

Este trabajo es el resultado del esfuerzo colectivo de muchas personas, y su generosidad y apoyo han sido una fuente constante de inspiración. Gracias a todos y cada uno de ustedes por formar parte de este logro académico.

Índice de Contenidos	Pag.
Dedicatoria	3
Agradecimientos.....	4
Índice figuras	6
Índice tablas	8
Resumen	9
Abstract	10
Introducción.....	11
Hipótesis.....	15
Objetivos	16
Materiales y métodos	17
Área de estudio.....	17
Estados de desarrollo embrionario de los huevos en la masa ovígera.....	18
Análisis estadístico	19
Ciclo reproductivo	20
Resultados	22
Discusión.....	31
Conclusión.....	34
Referencias	35

Índice figuras

Figura 1: Área de estudio comprendida desde el límite norte de la Región del Maule (34°41'S) hasta el límite sur de la región del Bio-Bio (38°20'S).	17
Figura 2: Estados de desarrollo embrionario y larvas de langostino colorado. (Palma, 1997).	19
Figura 3: Extensión del ciclo reproductivo de langostino colorado y langostino amarillo a través de la fracción de hembras ovígeras por mes, periodo 2018-2022.	24
Figura 4: Fracción de estadios de desarrollo hembrionario de las hembras ovígeras durante los meses de duración del ciclo reproductivo para <i>Pleuroncodes monodon</i> (LCOL) y <i>Cervimunida johni</i> (LAM).	25
Figura 5: fraccion de hembras ovígeras con respecto a distintos estratos de grupos de talla para langostino colorado.....	26
Figura 6 : Fracción de hembras ovígeras con respecto a distintos estratos de grupos de talla para langostino amarillo.	27
Figura 7: Efectos de la profundidad de fondo (m) sobre las hembras ovígeras de langostino colorado.	28

Figura 8: Efectos de la profundidad de fondo (m) sobre las hembras ovígeras de langostino amarillo. 29

Figura 9: Proporción mensual de machos y hembras de langostino colorado. Se indica el número de ejemplares analizados entre paréntesis, y el eje x representa meses desde marzo (=3) a diciembre (12)..... 30

Figura 10 : Proporción mensual de machos y hembras de langostino amarillo. Se indica el número de ejemplares analizados entre paréntesis, y el eje x representa meses desde marzo (=3) a diciembre (12)..... 30

Índice tablas

Tabla 1: Resumen del número de ejemplares (N) medidos por años (YY), sexo, y talla promedio (mm), desviación estándar y rango de la longitud del cefalotórax (LC).	22
Tabla 2: porcentaje por estadio de hembras ovígeras con respecto al total de Ov (hembras ovígeras)	23

Resumen

El estudio y la comprensión de la biología reproductiva y los cambios en la proporción sexual de las poblaciones de importancia comercial, permiten estudiar la fenología y estrategia reproductiva como también los efectos de la presión de pesca. Una pesca intensa genera efectos demográficos asociados al truncamiento de la estructura de tallas por la acción selectiva de las artes de pesca. En Chile, la pesquería de langostino colorado (*Pleuroncodes monodon*) y langostino amarillo (*Cervimunida johni*) se encuentran en explotación plena por lo que es importante evaluar si los procesos poblacionales asociados con la reproducción están siendo resguardados. Es por esto que, se analizó el comportamiento reproductivo y la variación de la proporción sexual de ambas especies mediante datos obtenidos provenientes de la unidad de pesquería comprendida entre las regiones del Maule ($34^{\circ}41'S$) y Biobío ($38^{\circ}20'S$). Los resultados obtenidos muestran que el ciclo reproductivo de langostino colorado y langostino amarillo se manifiestan con una estacionalidad distinta regulado por factores como la profundidad y talla. Además, la proporción sexual indicó que en invierno hubo una mayor predominancia de hembras en relación a los machos para langostino colorado y para langostinos amarillo existió una mayor predominancia de machos en relación a las hembras. Estos hallazgos son fundamentales para comprender la dinámica reproductiva de ambas especies y para establecer medidas adecuadas de conservación y manejo que aseguren la sustentabilidad de la pesquería y la protección de las poblaciones de langostinos en la zona centro-sur de Chile.

Abstract

The study and understanding of the reproductive biology and changes in the sex ratio of commercially important populations allow the study of phenology, reproductive strategy, and the effects of fishing pressure. Intense fishing generates demographic effects associated with the truncation of the size structure due to the selective action of fishing gear. In Chile, the red squat lobster (*Pleuroncodes monodon*) and yellow squat lobster (*Cervimunida johni*) fishery is fully exploited, so evaluating whether the reproduction population processes are protected is essential. For this reason, the reproductive behavior, and the variation of the sexual proportion of both species were analyzed using data obtained from the fishing unit between the regions of Maule (34°41'S) and Biobío (38°20'S). The results show that the reproductive cycle of red squat-lobster and yellow squat-lobster have a different seasonality, driven by bottom depth and size. In addition, the sex ratio indicated that there was a more significant predominance of females than males for red squat lobster in winter. For yellow squat lobster, there was a more significant predominance of males concerning females. These findings are fundamental for understanding the reproductive dynamics of both species and for establishing adequate conservation and management measures to ensure the sustainability of the fishery and the protection of squat lobster populations in south-central Chile.

Introducción

El ciclo reproductivo de los crustáceos decápodos por lo general se reconoce a través del patrón estacional de portación de huevos de las hembras, proceso que se alterna entre periodos de muda, y con una alteración en la proporción sexual de la fracción adulta. Determinar el ciclo reproductivo y los cambios en la proporción sexual en recursos de importancia comercial, no sólo permite estudiar la fenología y estrategia reproductiva sino también analizar los efectos de la presión de pesca (Ogburn *et al.*, 2014; Ogburn, 2019). En efecto, los ciclos reproductivos de las especies sometidas a la explotación comercial pueden exhibir cambios debido a los efectos demográficos de la pesca mediante el truncamiento de la estructura de tallas por la acción selectiva de los artes de pesca (Anderson *et al.*, 2008; Rouyer *et al.*, 2011).

El subphylum Crustacea comprende alrededor de 52.000 especies conocidas, y constituye el mayor grupo de artrópodos acuáticos, siendo el orden Decápoda el más representativo con una amplia variedad de organismos tanto marinos, dulceacuícolas y terrestres (Varisco, 2013). La distribución vertical de los decápodos se extiende desde la zona intermareal hasta profundidades marinas sobre 5.000 m (Flores *et al.*, 2021^a; Varisco, 2013). Sin embargo, el mayor número de especies de decápodos se encuentra entre los 200 y 400 metros de profundidad (Ahumada *et al.*, 2020). Para aguas chilenas se han registrado la presencia de dieciséis especies de crustáceos decápodos de la familia Galatheidae (Retamal, 1981). La gran densidad poblacional de algunas especies como *Pleuroncodes monodon* (H. Milne Edwards, 1837) y *Cervimunida johni* Porter 1903, con abundancias relativas de 17,9 ton km⁻² y 15,2 ton km⁻² (Ahumada *et al.*, 2013) han permitido el desarrollo de pesquerías en el océano Pacífico (Wehrman y Acuña, 2011).

En Chile, *Pleuroncodes monodon* como *Cervimunida johni* son decápodos que se asientan al bentos y constituyen valiosos recursos pesqueros demersales (Gallardo *et al.*, 1994). La pesquería industrial de crustáceos decápodos presenta sus inicios

en Chile en la década del cincuenta, siendo sostenida inicialmente por el langostino amarillo (*Cervimunida johni*) y camarón nailon (*Heterocarpus reedi*). Posteriormente, debido a la disminución de los rendimientos de pesca de langostino amarillo en la zona centro-sur, se comenzó a explotar el langostino colorado (*Pleuroncodes monodon*) (Bahamonde *et al.*, 1979; 1986). En la zona centro-sur, las pesquerías de langostino colorado y langostino amarillo estuvieron en veda por ocho años, entre 2001 y 2009, debido a una explotación intensa que afectó la demografía. Posteriormente, en el año 2009 se observó una recuperación de la abundancia y comenzó un nuevo periodo de explotación pesquera desde el 2010, regulada por cuotas de capturas biológicamente aceptables. Al 2022, las poblaciones de langostino colorado y langostino amarillo se encuentran en un estado de explotación plena (SUBPESCA, 2022), lo que implica que las tasas de explotación están siendo balanceados con la tasa de renovación en la unidad de pesquería sur. Esta unidad de pesquería comprende la misma extensión geográfica para ambas especies, desde el límite norte de la Región de Valparaíso hasta el límite sur de la Región del Biobío.

La distribución geográfica de *Pleuroncodes monodon* se extiende desde Isla Lobos de Afuera, Perú, hasta Ancud, provincia de Chiloé, Chile (Palma, 1994), mientras que *Cervimunida johni* distribuye desde Arica (18°21'S) hasta Ancud (42°S) (Retamal, 1994). Los rangos batimétricos conocidos indican que ejemplares mayores de 10mm se pueden encontrar desde 29 m hasta 400 m de profundidad (Retamal, 1994) la distribución batimétrica varía en función de su comportamiento reproductivo (Palma y Arana, 1997). De esta manera, habitan sobre la fondos fangosos o arenosos de la plataforma y talud continental, de preferencia en la zona de mezcla de las masas de aguas asociadas con la corriente subsuperficial de Chile Perú que fluye al polo (Contreras *et al.*, 2019), conocida también como corriente de Günther (Arana *et al.*, 1975). Las masas de agua asociadas dicen relación principalmente con el Agua Ecuatorial Subsoperficial ($O_2 < 1 \text{ ml L}^{-1}$, 12–13 °C, 35 psu) (Schneider *et al.*, 2007).

Respecto de los rasgos y ciclo reproductivo, *Pleuroncodes monodon* es una especie dioica, con marcado dimorfismo sexual. Los machos presentan el primer y segundo par de pleópodos adaptados como órganos copuladores (Gutiérrez y Zúñiga, 1977). Las hembras de langostino colorado, portan huevos entre febrero y diciembre, pero la mayor proporción ocurre entre mayo y octubre y la liberación larval en la zona sur de Chile se realiza entre junio y octubre (Palma & Arana, 1997). La fase planctónica de *Pleuroncodes monodon* incluye cinco estadios larvales de zoeas (Fagetti y Campodonico, 1971), una megalopa y una juvenil. Las megalopas están presentes en el plancton desde mediados de la primavera hasta fines del verano. Gallardo *et al.* (1994) estimaron un lapso de vida larvaria de al menos cinco meses en la bahía de Concepción, desde la fase zoeas hasta el juvenil. Asimismo, Gallardo *et al.* (1994) plantea que los juveniles de langostino colorado reclutan al bentos entre los meses de marzo y abril, a un tamaño de 10 mm de longitud del cefalotórax.

Yannicelli *et al.* (2013) apoyan la idea de que la liberación de larvas durante los periodos de surgencia en la plataforma continental potenciaría el transporte costero y ascendente hacia aguas más oxigenadas, favoreciendo la supervivencia de las zoea tempranas y probablemente el éxito del reclutamiento. La supervivencia de las larvas, y su posterior asentamiento, dependen de varios procesos independientes de la densidad, como la disponibilidad de alimentos, la temperatura, el oxígeno disuelto y la permanencia en las zonas de crianza (Yannicelli y Castro, 2013). Del mismo modo, las hembras ovígeras del langostino colorado se desplazan hacia aguas menos profundas para liberar las larvas, probablemente en busca de aguas más oxigenadas (Gallardo *et al.*, 2017). De esta manera, Gallardo *et al.* (2017) establece que la variabilidad estacional de la zona mínima de oxígeno podría actuar como presión selectiva para sincronizar los periodos reproductivos frente a Chile. Además, Flores *et al.* (2021b) encontraron que el langostino colorado muestra flexibilidad fenotípica en sus rasgos reproductivos ante cambios en la temperatura superficial del mar, con huevos más pequeños durante eventos El Niño intensos, y huevos más grandes en condiciones frías. Similares resultados encontraron Gallardo *et al.* (2019), quienes en cautiverio mostraron que hembras de langostinos

colorado produjeron huevos más pequeños a 15°C que aquellas mantenidas a 11°C.

El ciclo reproductivo de *Cervimunida johni* no ha sido descrito en relación con los estadios de desarrollo de los embriones, ni los efectos de la profundidad ni el tamaño corporal. Tampoco se ha estudiado la fenología reproductiva respecto de las condiciones ambientales. Se sabe que el langostino amarillo exhibe un claro dimorfismo sexual asociado al tamaño, siendo los machos más grandes que las hembras. A su vez, se ha descrito que las hembras de langostino amarillo son portadoras de huevos entre mayo y noviembre, con moda en agosto y la liberación larval ocurriría entre octubre y noviembre en la zona centro-norte (Wolff y Aroca, 1995; Mujica *et al.*, 2011). Al parecer, dada la sobreposición en su distribución geográfica, la estrategia reproductiva de langostino amarillo podría ser similar a la del langostino colorado. No obstante, el langostino amarillo tiende a distribuirse a mayor profundidad que el langostino colorado, más hacia el quiebre de la plataforma continental y probablemente más influido por las aguas hipóxicas de la corriente subsuperficial de Chile-Perú.

La proporción sexual puede ser diferente de 1:1, lo que podría ser consecuencia de diversos factores relacionados con las conductas de apareamiento y copula, y duración de la portación de huevos. En el caso de los crustáceos marinos, es frecuente observar estrategias competitivas que maximizan el encuentro entre machos y hembras al momento de estar éstas receptivas (Ogburn, 2019). Además, las hembras de muchos crustáceos mudan antes de ser copuladas y son más vulnerables a la depredación, lo que resulta en una notable disminución de la fracción poblacional de hembras disponibles para la copula (Franco-Meléndez *et al.*, 2012). Un gran número de ejemplares con exoesqueleto blando en marzo, fue seguida por un incremento importante de hembras ovíferas en abril. Esto es característico de los crustáceos, ya que la muda es previa a la cópula y luego sucede la extrusión de los huevos. La cópula se verifica a comienzos del otoño, lo cual

explicaría la aparición de hembras ovíferas a partir de abril y mayo (Palma y Arana, 1997).

En este contexto, y al considerar que las poblaciones de langostino amarillo y langostino colorado se encuentran en explotación plena, es importante evaluar si los procesos poblacionales asociados con la reproducción están siendo resguardados. En particular, evaluar la extensión del periodo de portación de huevos, y si el ciclo reproductivo es consistente con cambios estacionales en la proporción sexual.

Hipótesis General

El ciclo reproductivo de langostino colorado y amarillo se expresa en igual periodo del año con una estacionalidad diferente asociada con diferencias en portación de huevos, desarrollo embrionario, talla de las hembras, profundidad, y con cambios en la proporción sexual.

Hipótesis específicas

H1: La extensión temporal del ciclo de portación de huevos (fracción de hembras ovíferas) es diferente entre langostino colorado y langostino amarillo.

H2: La extensión del ciclo de portación presenta diferencias entre estadios de desarrollo embrionario.

H3: La extensión del ciclo de portación presenta diferencias entre grupos de talla.

H4: La mayor fracción de hembras ovíferas se encuentra en aguas más someras.

H5: La proporción sexual cambia estacionalmente similar al ciclo estacional de portación de huevos de cada especie. Diferencias significativas test de chi cuadrado ($P < 0,05$).

Objetivos

Objetivo general

Determinar la estacionalidad del ciclo reproductivo de langostino colorado y langostino amarillo en la zona centro-sur de Chile.

Objetivos específicos

1. Determinar la extensión temporal y estacionalidad de la fracción de hembra ovígeras respecto del total de hembras por especies.
2. Determinar la estacionalidad de la portación de huevos por estadio de desarrollo de los embriones por especies.
3. Evaluar la estacionalidad en la proporción sexual por especies.
4. Evaluar la incidencia de la profundidad en la fracción de hembras ovígeras.

Materiales y métodos

Área de estudio

Se utilizaron datos del periodo 2018-2022 del programa de seguimiento operacional de la pesquería de langostino amarillo y langostino colorado que lleva el Laboratorio Evaluación de Poblaciones Marinas del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción, en convenio con Pesquera Camanchaca Pesca-Sur. El programa de seguimiento consiste en el acceso a datos operacionales y la obtención de muestras diarias de ejemplares provenientes de las capturas efectuadas por las embarcaciones que operan desde el puerto base en Tomé (fig. 1).

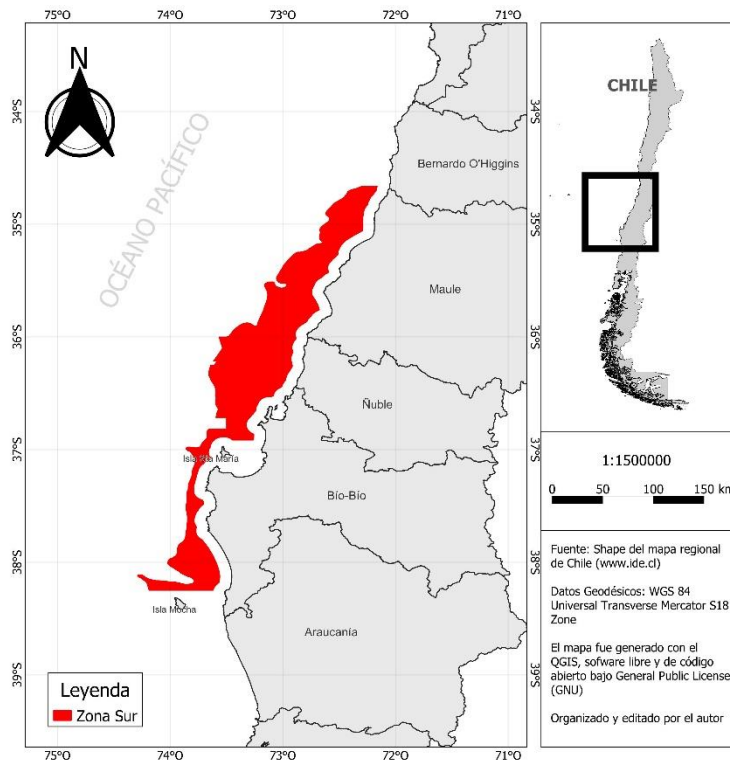


Figura 1: Área de estudio comprendida desde el límite norte de la Región del Maule ($34^{\circ}41'S$) hasta el límite sur de la región del Biobío ($38^{\circ}20'S$).

El muestreo biológico específico consistió en determinar sexo, longitud del cefalotórax, peso total, condición del exoesqueleto, y estados de madurez de la masa ovígera de las hembras portadoras. El estado de madurez se basa en Palma y Arana (1997), y se basa en características discretas del desarrollo de los embriones en cuatro estadios. La longitud del cefalotórax se define entre la órbita ocular y el extremo posterior del caparazón, y se mide con un pie de metro con ± 0.01 mm de precisión. El peso total se registra para cada individuo medido con una balanza monoplato de 0,01 g de precisión. Se registra, además, si el peso corresponde a ejemplares con todos sus apéndices completos, o si están incompletos. El peso de los ejemplares incompletos se corrige mediante una relación lineal entre el peso de ejemplares completos y peso incompleto.

Estados de desarrollo embrionario de los huevos en la masa ovígera

Se utilizó la escala de madurez macroscópica de los estadios de desarrollo embrionario descritos por Palma y Arana (1997) para el langostino colorado (Fig. 2), esto es: a) huevos inmaduros; b) vitelo granuloso, primordio embrionario; c) embriones con pigmentación negra oblicua en los ojos; d) embriones con ojos ovalados totalmente pigmentados. Las características de los estadios de desarrollo son:

Estado I (E1): Huevos de color naranja pálido, totalmente inmaduro. El vitelo se encuentra distribuido homogéneamente y no presenta estructuras ni células diferenciadas. El huevo tiene un diámetro medio de $0,545 \pm 0,043$ mm (Fig. 2a).

Estado II (E2): Huevos de color naranja brillante. El vitelo es oscuro y de apariencia granulosa, y ocupa la mayor parte del volumen interior del huevo. En este estado se inicia la diferenciación celular y se visualiza el primordio embrionario. El diámetro medio es de $0,590 \pm 0,042$ mm (Fig. 2b).

Estado III (E3): Huevos de color naranja oscuro y opaco. Se observa el inicio del desarrollo del embrión; aparece el esbozo de los globos oculares que son alargados y en su extremo distal, presentan una línea curva oscura que corresponde al inicio de la pigmentación ocular. El diámetro medio es de $0,620 \pm 0,039$ mm (Fig. 2c).

Estado IV (E4): Huevos de color café oscuro. El embrión está totalmente formado; los globos oculares son grandes y ligeramente alargados, de intensa pigmentación negra. Se observan algunos cromatóforos rojizos en la región dorsal del abdomen. El diámetro medio es de $0,687 \pm 0,066$ mm (d)

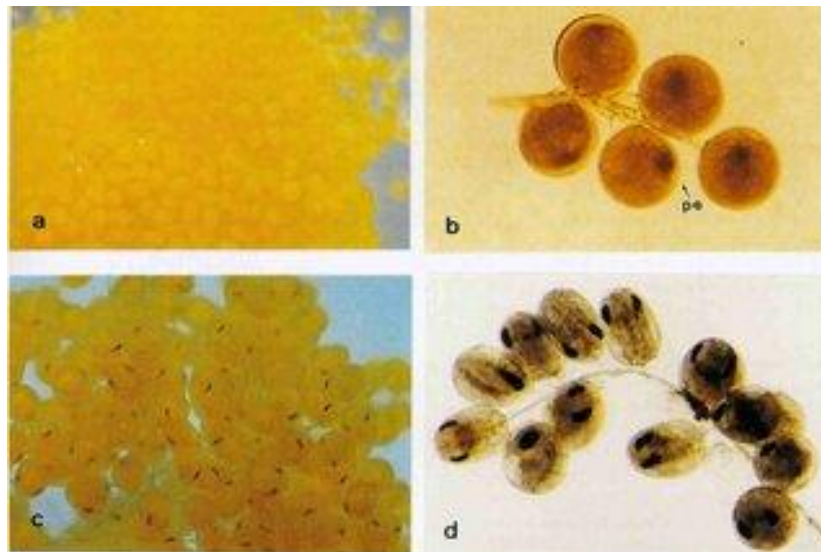


Figura 2: Estados de desarrollo embrionario y larvas de langostino colorado. (Palma, 1997).

Análisis estadístico

El análisis estadístico para variables binomiales se realizó mediante modelos aditivos generalizados GAM (Wood, 2006). Los modelos GAM son una extensión de modelos lineales generalizados (GLM), que utilizan suavizadores para detectar efectos no-lineales de las variables independientes en la variable respuesta. Un modelo GAM se expresa por:

$$Y = \alpha + \sum_{i=1}^n f_i(X_i) + \varepsilon$$

donde Y es la respuesta, X_i es el predictor, α intercepto y ε es el error. f_i es generalmente desconocida y se estima usando una función o suavizador (ajuste) en base a la dispersión de los datos. La forma preliminar que se obtiene de la relación entre la variable respuesta y cada predictor fue identificada para cada especie.

Ciclo reproductivo

Para evaluar diferencias en la extensión temporal del ciclo de portación de huevos, se utilizó un modelo GLM que consideró el efecto cruzado temporal del factor mes (M) con la especie, i.e.

$$Y = \alpha + MES * Especie$$

Donde Y es la variable dependiente con distribución binomial, asignándole 1 a las hembras ovígeras y 0 a las hembras no-vígeras. Se probaron diferencias significativas con un análisis de devianza mediante test de Chi-cuadrado. Una vez obtenido el modelo GLM se obtuvo la fracción de hembras ovígeras por mes, a partir del cual se estimó un índice de duración y amplitud.

$$E_i = \sum_{i=3}^{i=12} P(Ov)_i d_i$$

donde $P(Ov)_i$ es la fracción de hembras ovígeras en el mes i , y d_i indica el número de días del mes i . Se utilizó $d_i=30$, y desde marzo ($i=3$) a diciembre ($i=12$), ya que en los meses de enero y febrero la pesquería está en veda debido a la muda. El índice de extensión reproductivo mide el área bajo la curva del ciclo reproductivo estacional y representa la duración del ciclo en días.

Asimismo, para analizar el ciclo estacional por estados de desarrollo embrionario, se utilizó GLM para obtener la fracción mensual por estadios de madurez. El GLM permitió resumir la fracción de estadios por especies y mes, considerando la ocurrencia de cada estado como una variable binomial.

Para estudiar el efecto de la talla en la fracción de hembras ovígeras por mes se utilizó un modelo GLM con efecto cruzado $MES * \text{Grupos de Tallas}$, i.e.,

$$Y = \alpha + MES * Talla$$

Donde Y es una variable binomial con la ocurrencia de hembras clasificadas igual a 1, y las hembras no-ovígeras como 0. Se utilizaron grupos de tallas de 10 mm debido a que las tallas más pequeñas y grandes estuvieron poco representadas y podrían influir en los modelos al utilizar los valores individuales.

A su vez, para analizar los efectos de la profundidad sobre la ocurrencia de hembras ovígeras, se utilizó un modelo GAM a objeto de detectar los efectos no-lineales de la relación.

Por último, la proporción de machos y hembras durante los meses se analizó con pruebas de chi-cuadrado para comparar las proporciones observadas de machos y hembras en cada mes con una distribución de proporciones de referencia.

Resultados

En el transcurso del estudio se analizó un total de 171.317 datos, de los cuales 77.060 corresponden a machos (44,98%) y 94.257 corresponden a hembras (55,02%), a la vez se separaron por especie obteniendo un 40,79 % correspondiente a langostino amarillo (70.186 individuos) y un 59,03 % correspondiente a langostino colorado (101.131). De los datos anteriores se obtuvo una proporción de un 45% para hembras de LAM y una proporción de un 62% para LCOL (Tabla 1).

Tabla 1: Resumen del número de ejemplares (N) medidos por años (YY), sexo, y talla promedio (mm), desviación estándar y rango de la longitud del cefalotórax (LC).

Características	LAM, N=70.186	LCOL, N=101.131
YY		
2018	7,112 (10%)	26,997 (27%)
2019	13,480 (19%)	39,759 (39%)
2020	20,067 (29%)	4,541 (4.5%)
2021	17,324 (25%)	12,474 (12%)
2022	12,203 (17%)	17,360 (17%)
Sexo		
Hembra	31,809 (45%)	62,448 (62%)
Macho	38,377 (55%)	38,683 (38%)
LC	37.0 (5.9) [15.3-57.3]	34.7 (3.1) [11.8-52.7]

Con los datos obtenidos, a partir del total de hembras de cada especie se calculó la cantidad de hembras ovígeras (Ov) disponibles para cada una de las especies, obteniendo 41.852 y 23. 995 para langostino colorado y langostino amarillo, respectivamente. A su vez se calculó la cantidad y fracción de hembras por estadios de desarrollo embrionario (E1-E4) (Tabla 2).

Tabla 2: porcentaje por estadio de hembras ovígeras con respecto al total de Ov (hembras ovígeras)

Estado	H.COL	H.LAM	% H.COL	% H.LAM
E1	3359	3838	8.023	15.99
E2	15639	13687	37.37	57.04
E3	19159	4569	47.78	19.04
E4	3695	1901	8.83	7.92
Total Ov	41852	23995	100	100

Ciclo reproductivo

Se observaron hembras de langostinos colorados con portación de huevos de forma continua desde marzo hasta diciembre, lo cual sugiere que se produce un extenso ciclo reproductivo con una mayor fracción de hembras ovígeras durante los meses de invierno (junio-agosto). Para el langostino amarillo, en cambio, se aprecia un inicio de la portación de huevos a partir de mayo hasta diciembre y con una fracción de hembras ovígeras cercana al 100% durante los meses de julio - septiembre (Fig. 3).

El índice de duración y amplitud del ciclo reproductivo muestra que el langostino colorado tuvo una duración total de 166 días, mientras que el langostino amarillo tuvo una duración total de 152 días.

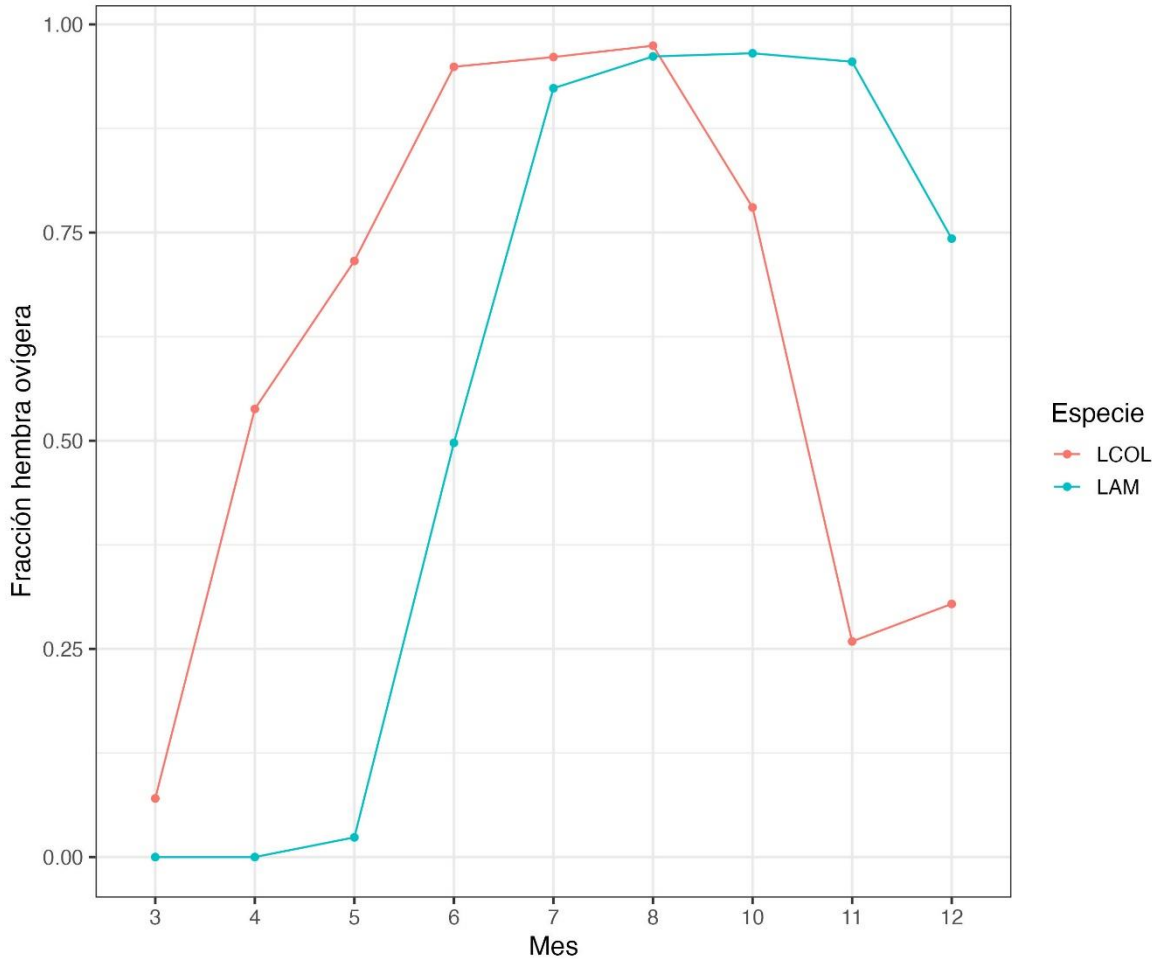


Figura 3: Extensión del ciclo reproductivo de langostino colorado y langostino amarillo a través de la fracción de hembras ovígeras por mes, periodo 2018-2022.

La extensión del ciclo de portación de huevos por estados de desarrollo, muestra que el estado inmaduro estado E1 y E2 ocurrieron desde abril hasta diciembre para langostino colorado y desde mayo hasta diciembre para langostino amarillo (Fig. 4A y 4B). Sin embargo, los estadios 3 y 4 (E3 y E4) que se caracterizan por una maduración avanzada de los huevos, estos se encontraron desde abril a octubre con valores cercanos al cincuenta por ciento de la fracción de hembras ovígeras durante agosto y octubre (Fig. 4C y 4D). lo que indicaría que la eclosión de las larvas

comenzaría mayoritariamente durante los meses de invierno (julio a agosto) con un máximo durante Julio para el caso de langostino colorado (Fig. 4D).

En el caso del langostino amarillo, el estado 4 (E4) comienza a aparecer a partir de los meses de agosto, con un máximo en diciembre. Esto indica que la eclosión de los huevos de esta especie se produce principalmente durante los meses de primavera (Fig4C).

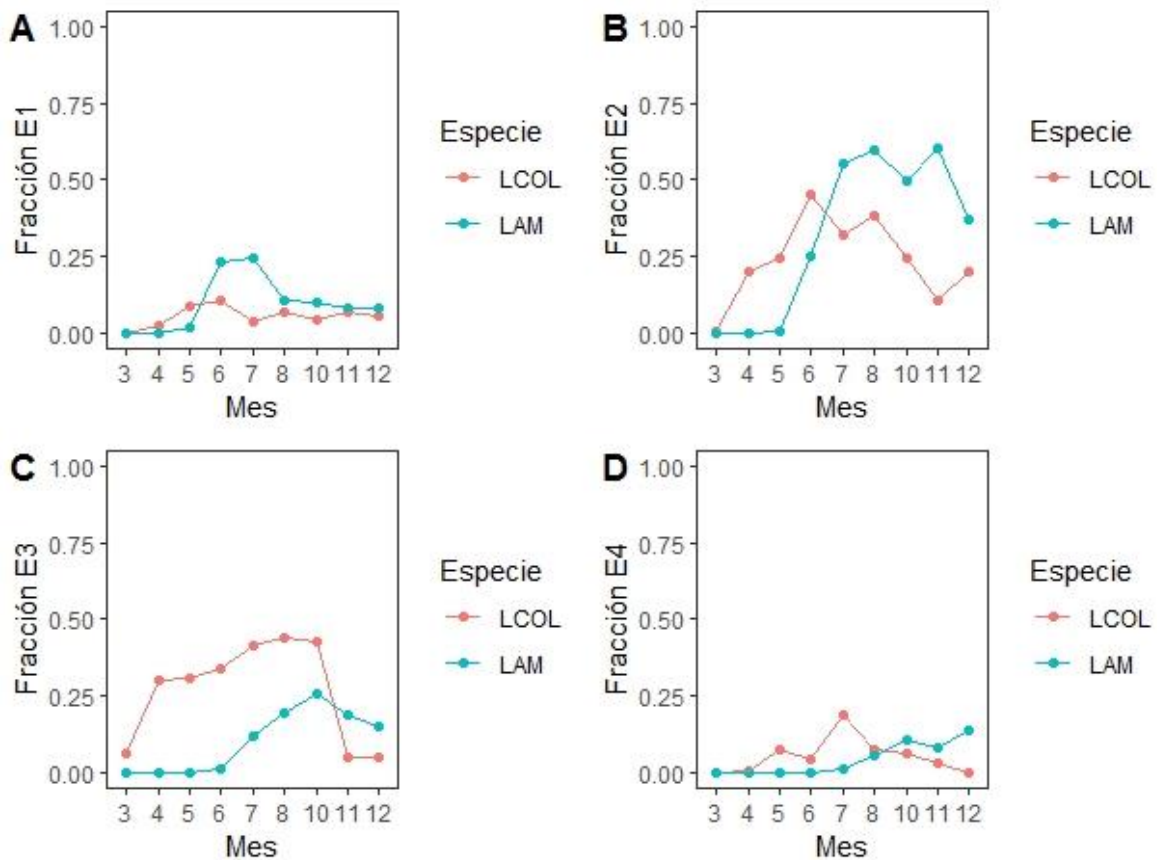


Figura 4: Fracción de estadios de desarrollo embrionario de las hembras ovígeras durante los meses de duración del ciclo reproductivo para *Pleuroncodes monodon* (LCOL) y *Cervimunida johni*(LAM).

Efecto de la talla por mes en la fracción de hembras ovígeras

El efecto cruzado entre mes y grupos de talla muestra una tendencia logística con los meses. En el caso del langostino colorado, los grupo de talla de hasta 20 mm (<20 mm), y de 20-30 mm alcanzaron una proporción de hembras ovígeras de entre 25 y 80%, en cambio los estratos de tallas de 30-40 y 40-50 mm alcanzan hasta 100% de hembras ovígeras con los meses (Fig. 5).

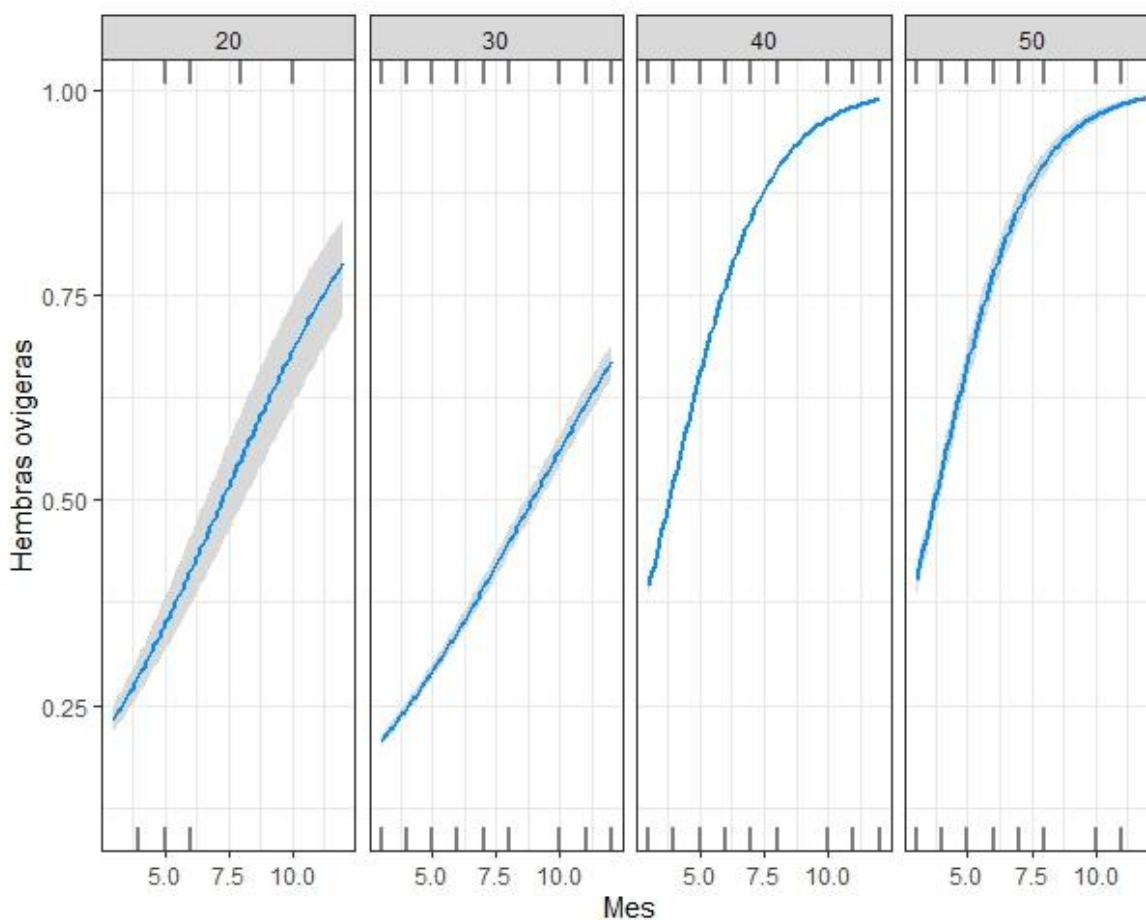


Figura 5: fracción de hembras ovígeras con respecto a distintos estratos de grupos de talla para langostino colorado.

Para el langostino amarillo el efecto del grupo de talla menor a 25 mm es de menor importancia en el ciclo reproductivo, mientras que los grupos de tallas 25-35, 35-45 y 45-55 fueron similares (Fig. 6).

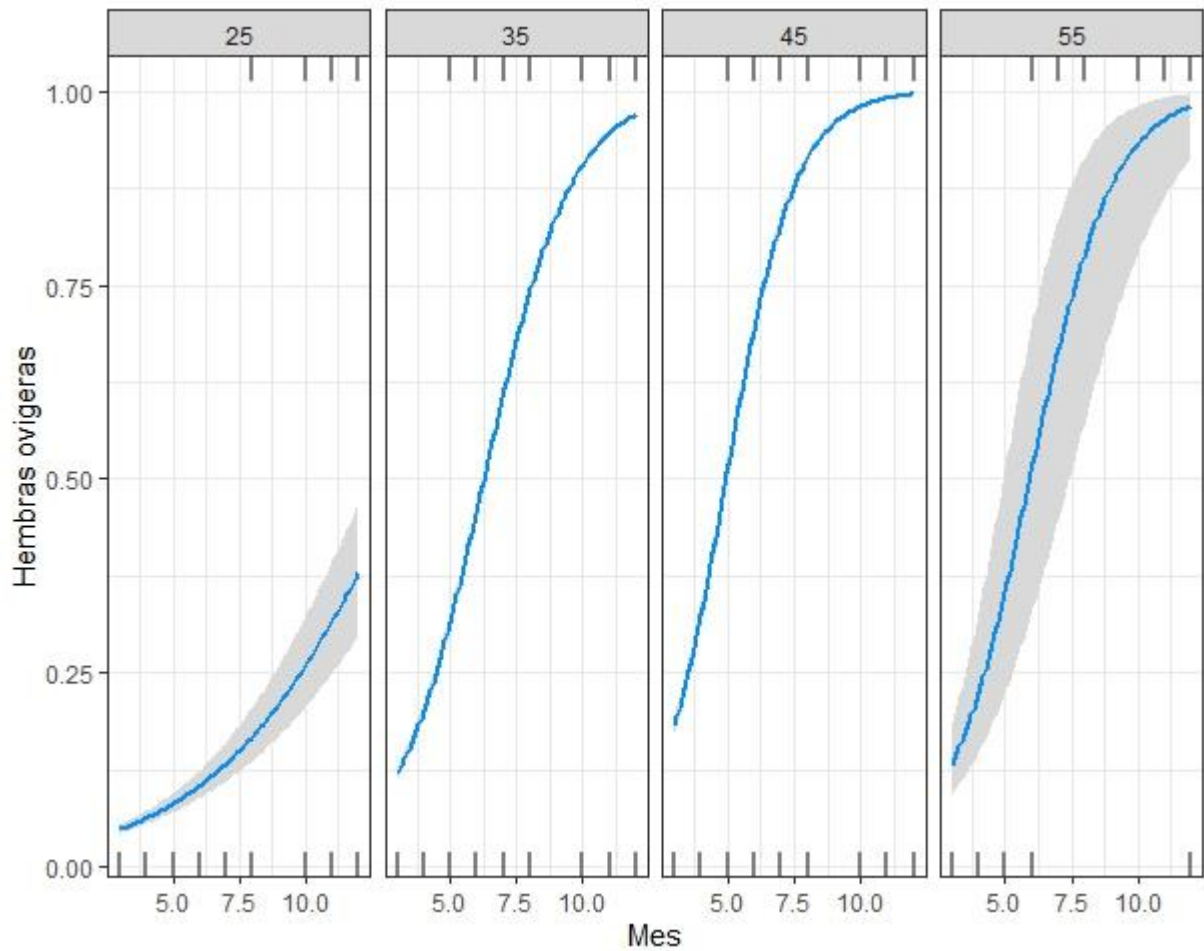


Figura 6 : Fracción de hembras ovígeras con respecto a distintos estratos de grupos de talla para langostino amarillo.

Efecto de la profundidad de fondo

El modelo entre la proporción de hembras ovígeras y la profundidad de fondo fue significativo en las dos especies (Chi-cuadrado, $p < 0.05$). Para langostino colorado y langostino amarillo, a medida que la profundidad disminuye, la proporción de hembras ovígeras tiende a aumentar pasando por un máximo. Las hembras ovígeras de langostino colorado se encuentra distribuidas en un rango de profundidades desde los 100 hasta los 250 metros presentando la mayor concentración de hembras ovígeras alrededor de los 160- 180 metros de profundidad (Fig. 7). En el caso del langostino amarillo este presenta una distribución de profundidad entre los 100 y 200 metros con un peak en los 150 metros (Fig. 8)

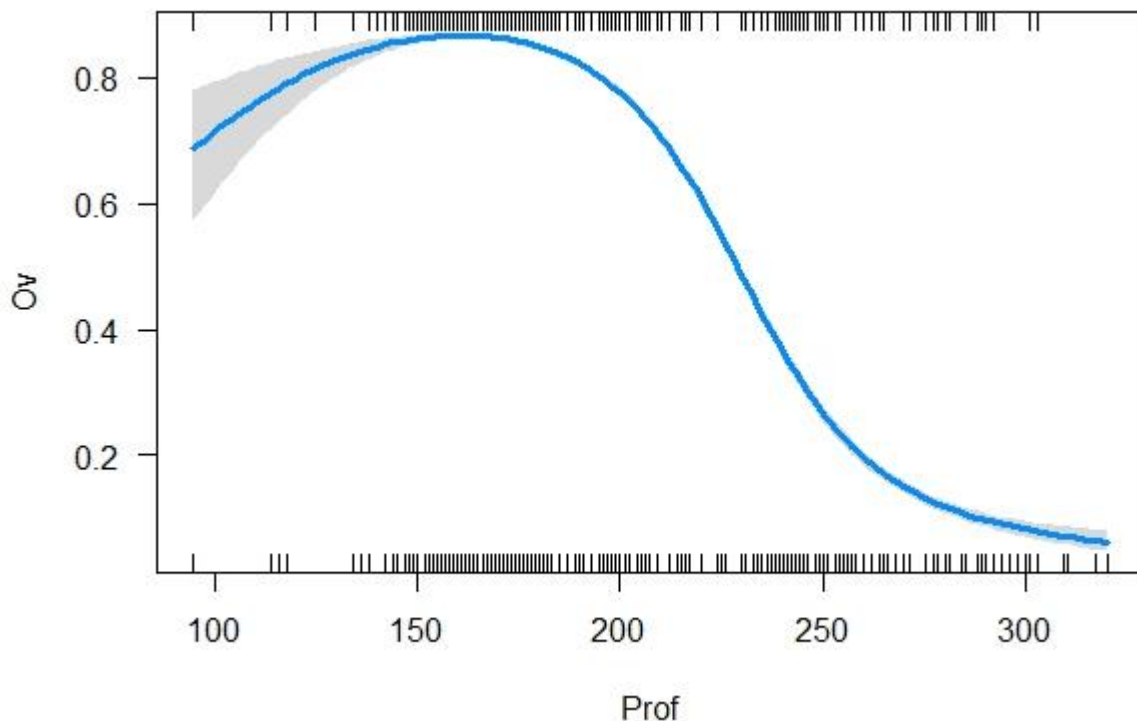


Figura 7: Efectos de la profundidad de fondo (m) sobre las hembras ovígeras de langostino colorado.

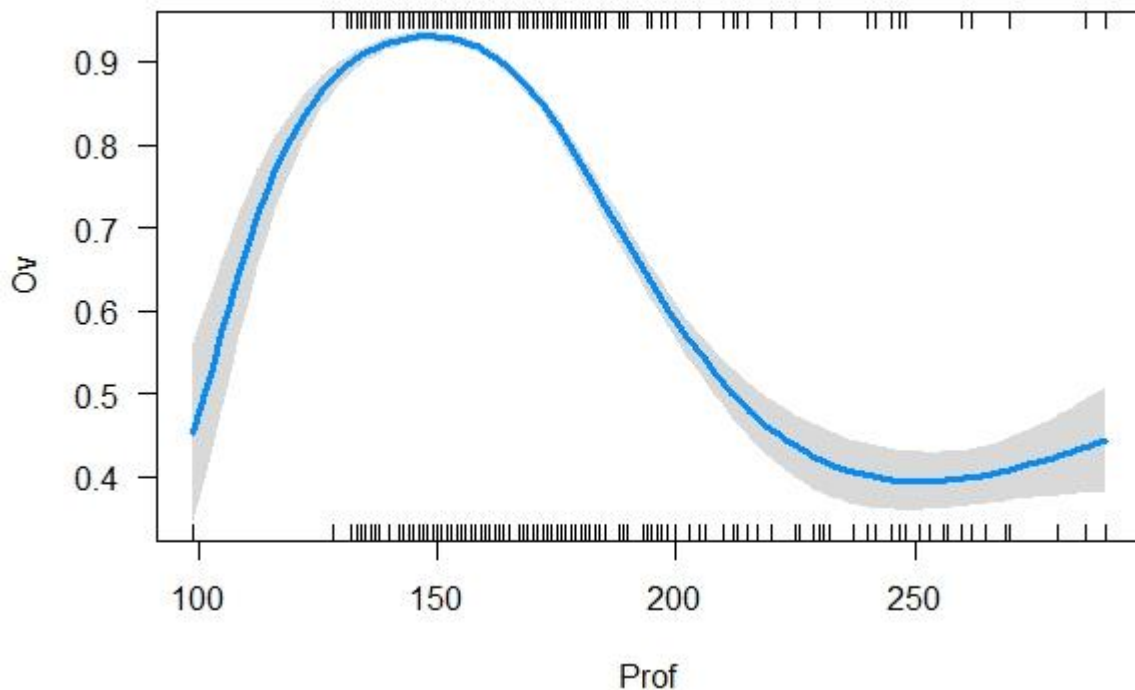


Figura 8: Efectos de la profundidad de fondo (m) sobre las hembras ovígeras de langostino amarillo.

Proporción sexual

La proporción entre machos y hembras mostró un ciclo que demuestra cambios estacionales. La proporción sexual fluctuó levemente, con porcentajes que variaron entre 35% y 50% en los machos de langostino colorado a pesar de presentar un amplio porcentaje de machos en cada uno de los meses no existió un predominio de estos sobre las hembras solo acercándose a una proporción de 1:1 durante los meses noviembre y diciembre (Fig. 9). Cambios contrarios se registraron en el langostino amarillo, con un mayor aporte de machos sobre las hembras las que presentaron entre marzo y junio de entre 31% y 37%. Entre julio y octubre el aporte de hembras es de 46-47%, y aumenta a 58-61% en noviembre y diciembre (Fig. 10).

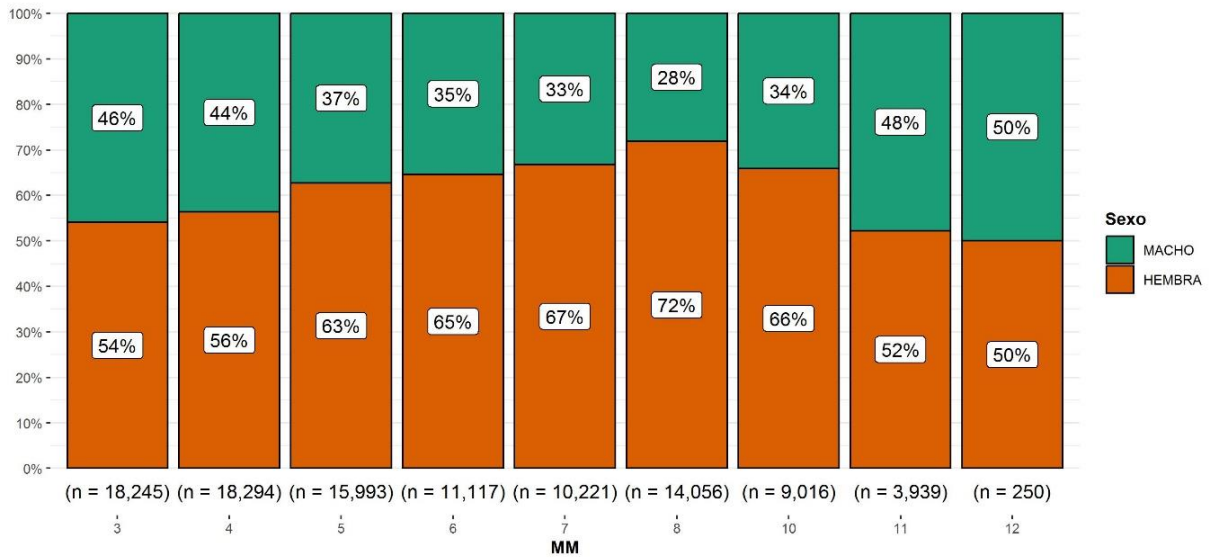


Figura 9: Proporción mensual de machos y hembras de langostino colorado. Se indica el número de ejemplares analizados entre paréntesis, y el eje x representa meses desde marzo (=3) a diciembre (12).

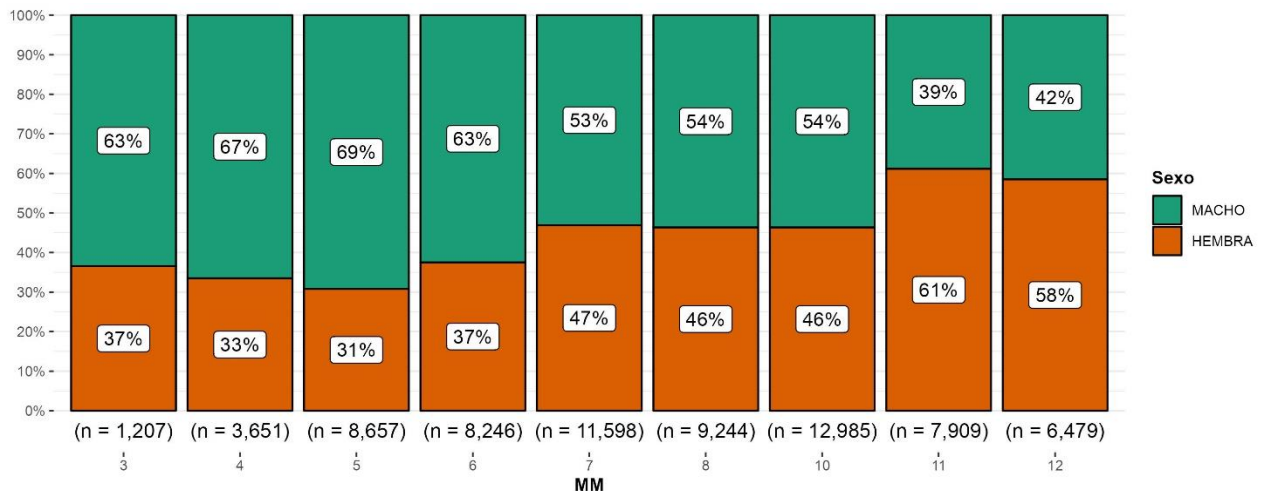


Figura 10 : Proporción mensual de machos y hembras de langostino amarillo. Se indica el número de ejemplares analizados entre paréntesis, y el eje x representa meses desde marzo (=3) a diciembre (12).

Discusión

El ciclo reproductivo de una especie es un aspecto crítico para su sobrevivencia y dinámica poblacional, ya que influye directamente en la producción y liberación de sus larvas, las cuales aseguran la continuidad de la especie y la sustentabilidad de actividades pesquera.

Los datos recolectados desde la pesquería durante el periodo 2018-2022, permiten acercarnos al ciclo reproductivo de ambas especies de langostinos. Se observó que el langostino colorado presentó un ciclo reproductivo más extenso que el langostino amarillo. El ciclo del langostino colorado se extendió por 166 días y el de langostino amarillo por 152 días, lo que se debe a que el ciclo de portación de huevos de las hembras de langostino colorado comienza después de marzo y termina antes. En cambio, el langostino amarillo comienza en junio y se extiende hasta diciembre.

En langostino colorado, la proporción de hembras con presencia de huevos mayor al 0.25% a partir del mes de abril con una alta actividad de hembras ovígeras durante los meses de invierno (junio-agosto) cercanos al 100%. De esta manera, el periodo de portación y liberación de larvas tiende a ser más intenso durante el invierno, con un máximo en julio, debido a una alta presencia de hembras en estadio 4. Según Gallardo *et al.* (2017), la actividad reproductiva estaría asociada a la marcada estacionalidad del ecosistema de surgencia costera. A su vez, Tapella *et al.* (2002) y Sobarzo *et al.* (2007), indican que la producción primaria tiende a ser mayor durante primavera y verano, seguido por un incremento en la temperatura y radiación solar.

La talla mínima registrada en el presente estudio indica la presencia de hembras portando huevos a los 16 mm LC dato inferior a lo reportado por palma y Arana (1997) quienes establecen la primera talla de madurez sexual en 20.3 mm LC. Sin embargo, los valores registrados en Perú para el langostino colorado pelágico

reportan la presencia de hembras ovígeras a una talla de 9 mm LC. (Franco-Melendez et al., 2012). Bustos *et al.* (1982), en trabajo realizado frente a Talcahuano, obtuvieron un ejemplar de 12 mm en esta misma condición. Esta situación podría explicar el mayor aporte del grupo de tallas menores de langostino colorado a la fracción de hembras ovígeras.

La alta fracción del estadio de desarrollo I (E1) durante toda la extensión del ciclo reproductivo de hembras se extiende desde abril a diciembre. A su vez, la ocurrencia de estadios avanzados desde abril-octubre (E3) y la presencia de un máximo secundario durante el estadio 4 en el mes de mayo (Fig 4), sugiere que las hembras de langostino colorado están produciendo más de un ciclo reproductivo completo durante el año. Esto concuerda con lo descrito por Palma y Arana (1997) quienes sugirieron un periodo de incubación de 90-120 días para langostino colorado con una sola exclusión de huevos durante el año. Además, Rivadeneira (2012) encontraron que en condiciones de temperaturas de entre 10-12°C, condiciones similares al medio en el que se encuentra distribuido langostino colorado y con aguas ricas en oxígenos en condiciones de laboratorio, la extensión total del ciclo se redujo a 40 días obteniendo hasta 3-4 posturas por año.

El langostino amarillo, presentó un ciclo reproductivo de extensión menor al langostino colorado, con una portación de huevos que se extiende desde mayo hasta diciembre. Estos resultados concuerdan con lo reportados por Henríquez (1979).

Se obtuvo una proporción mayor al 25% de hembras ovígeras a partir de junio, con máximo durante los meses de invierno-primavera (agosto-octubre-noviembre) con valores cercanos al 90% lo que indica un alto periodo de desove durante los meses de noviembre-diciembre con dos máximos importantes de hembras en estadio 4 (Fig. 4). La talla mínima registrada en este estudio para hembras ovígeras fue de 22 mm LC lo cual es inferior a lo descrito por Wolff (1995) quien establece una edad de primera madurez sexual entre los 25-35 mm LC.

El langostino amarillo presenta un ciclo reproductivo de duración de 152 días, y Wolff y Aroca (1995) dedujeron un periodo de incubación similar a lo reportado por Palma y Arana (1997) para el langostino colorado de 90-120 días. Se observó dos máximos de hembras en estadio 4, lo que indicaría que langostino amarillo tendría apareamientos múltiples. Esto explicaría la presencia de estadio 3 y 4 durante gran parte del ciclo reproductivo. Espinoza (2012) describe que las hembras de langostino amarillo se encuentran receptivas al apareamiento poco después de la liberación de su postura anterior, mientras tienen un desarrollo gonadal interior durante el proceso de liberación de larvas.

Conclusión

- Los datos recolectados durante el periodo 2018-2022 permiten obtener un acercamiento aproximado al ciclo reproductivo de ambas especies de langostinos
- La diferencia en los periodos del ciclo reproductivo entre el langostino colorado y el langostino amarillo sugiere una adaptación a distintas condiciones ambientales y recursos disponibles en sus hábitats respectivos.
- La profundidad actúa como un factor determinante a la hora de encontrar un alto porcentaje de hembras ovígeras
- Los datos obtenidos sugieren que podría existir un desplazamiento de los machos hacia zonas más profundas, ya que se ha observado cierto grado de segregación sexual en periodos avanzados de madurez de la masa ovígeras de las hembras.

Referencias

Ahumada M, Queirolo D, Apablaza P, Wiff R, Plaza G, Lima M, Montero J, Flores A, & Klarian S. (2020). Evaluación directa de langostino amarillo, langostino colorado y camarón nailon entre la región de Antofagasta y BioBío, año 2019. Technical Report. Retrieved from <http://www.ifop.cl>.

Ahumada, M., Queirolo, D., Acuña, E., & Gaete, E. (2013). Caracterización de agregaciones de langostino colorado (*Pleuroncodes monodon*) y langostino amarillo (*Cervimunida johni*) mediante un sistema de filmación remolcado. Latin american journal of aquatic research, 41(1), 199-208.

Anderson, C. N., Hsieh, C. H., Sandin, S. A., Hewitt, R., Hollowed, A., Beddington, J., ... & Sugihara, G. (2008). Why fishing magnifies fluctuations in fish abundance. Nature, 452(7189), 835-839.

Arana, P., Melo, T., Noziglia, L., Sepúlveda, J. I., Silva, N., Yany, G., & Yáñez, E. (1975). Los recursos demersales de la Región de Valparaíso, Chile. Rev. Com. Perm. Pacífico Sur, 3, 39-63.

Bahamonde, N., Henríquez, G., Zuleta, A., Bustos, H., Bahamonde, R., Jamieson, G., and Bourne, N. 1986. Population dynamics and fisheries of squat lobsters, family galatheidae, in chile. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 92: 254–268.

Cayuela, L. (2009). Modelos lineales generalizados (GLM). Materiales de un curso del R del IREC.

Contreras, M., Pizarro, O., Dewitte, B., Sepulveda, H. H., & Renault, L. (2019). Subsurface mesoscale eddy generation in the ocean off central Chile. Journal of Geophysical Research: Oceans, 124(8), 5700-5722.

Fagetti, E., & Campodonico, I. (1971). Larval development of the red crab *Pleuroncodes monodon* (Decapoda Anomura: Galatheididae) under laboratory conditions. *Marine Biology*, 8(1), 70-81.

Flores, A., Wiff, R., Ahumada, M., Queirolo, D., & Apablaza, P. (2021b). Coping with El Niño: phenotypic flexibility of reproductive traits in red squat lobster determines recruitment success. *ICES Journal of Marine Science*, 78(10), 3709-3723.

Flores, A., Wiff, R., Brown, D. I., Ahumada, M., & Larrea-Meza, S. (2021a). Reproductive strategy of yellow squat lobster (*Cervimunida johni* Porter, 1903): re-evaluating the maturity criteria. *Marine Biology Research*, 17(9-10), 978-993.

Franco-Meléndez, M. T. (2012). Comportamiento reproductivo y variación de la proporción sexual de *Pleuroncodes monodon* (Crustacea: Galatheididae) en la costa peruana. *Ciencias marinas*, 38(2), 441-457.

Gallardo, de los Ángeles M., Rojas, I., Brokordt, K., Lovrich, G., Nuñez, V., Paschke, K., ... & Yannicelli, B. (2019). Life on the edge: incubation behaviour and physiological performance of squat lobsters in oxygen-minimum conditions. *Marine Ecology Progress Series*, 623, 51-70.

Gallardo, M. de los Ángeles, López, A. E. G., Ramos, M., Mujica, A., Muñoz, P., Sellanes, J., & Yannicelli, B. (2017). Reproductive patterns in demersal crustaceans from the upper boundary of the OMZ off north-central Chile. *Continental Shelf Research*, 141, 26-37.

Gallardo, V. A., Cañete, J. I., Roa, R., Enriquez-Briones, S., & Baltazar, M. (1994). Recruitment of the squat lobster *Pleuroncodes monodon* on the continental shelf off central Chile. *Journal of Crustacean Biology*, 14(4), 665-669.

Gutiérrez, M., Zúñiga R. (1977) *Pleuroncodes monodon h. milne edwards*, en la bahía de mejillones del sur, Chile (Crustacea, Decapoda, Anomura).

Henríquez, G. (1979). Recurso langostino colorado. Estado actual de las principales pesquerías nacionales. Bases para un desarrollo pesquero. CORFO-IFOP.

Mujica, A., Acuña, E., & Nava, M. L. (2011). Distribución y abundancia de larvas de *Heterocarpus reedi* Bahamonde, 1955, *Cervimunida johni* Porter, 1903 y *Pleuroncodes monodon* (H. Milne Edwards, 1837), frente a Coquimbo y Caldera, Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 39(1), 138-150.

Ogburn, M. B. (2019). The effects of sex-biased fisheries on crustacean sex ratios and reproductive output. *Invertebrate Reproduction & Development*, 63(3), 200-207.

Ogburn, M. B., Roberts, P. M., Richie, K. D., Johnson, E. G., & Hines, A. H. (2014). Temporal and spatial variation in sperm stores in mature female blue crabs *Callinectes sapidus* and potential effects on brood production in Chesapeake Bay. *Marine Ecology Progress Series*, 507, 249-262.

Palma, S., & Arana, P. (1997). Aspectos reproductivos del langostino colorado (*Pleuroncodes monodon* H. Milne Edwards, 1837), frente a la costa de Concepción, Chile. *Investigaciones Marinas*, 25, 203-221.

Retamal, M. A. (1981). Catálogo ilustrado de los crustáceos decápodos de Chile (Vol. 44, pp. 1-110). Universidad de Concepción.

Retamal, M. A. (1994). Los decápodos de Chile. Concepción: Editorial de la Facultad de Ciencias Biológicas, pp. 107-120

Rivera, J., & Santander, E. (2005). Variabilidad estacional de la distribución y abundancia de larvas de langostino colorado en la zona norte de Chile (Decapoda, Anomura, Galatheidae). *Investigaciones marinas*, 33(1), 3-23.

Rouyer, T., Ottersen, G., Durant, J. M., Hidalgo, M., Hjermann, D. Ø., Persson, J., ... & Stenseth, N. C. (2011). Shifting dynamic forces in fish stock fluctuations triggered by age truncation?. *Global Change Biology*, 17(10), 3046-3057.

Schneider, W., Fuenzalida, R., Núñez, R., GARCÉS-VARGAS, J., Bravo, L., & Figueroa, D. (2007). Discusión del sistema de la corriente Humboldt y masas de agua en la zona norte y centro de Chile. *Revista Ciencia y Tecnología del Mar*, 30(1), 22.

Subsecretaría de pesca y acuicultura. (2020). Estado de situación de las principales pesquerías chilenas, año 2019.

Varisco, M. A. (2013). Biología de *Munida* gregaria (Crustacea: Anomura): bases para su aprovechamiento pesquero en el Golfo San Jorge, Argentina (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).

Wehrtmann, I. S., & Acuña, E. (2011). 10 Squat lobster fisheries. *The biology of squat lobsters*, 2, 297.

Wolff, M. & T. Aroca. 1995. Population dynamics and fishery of the Chilean squat lobster *Cervimunida johni* Porter (Decapoda, Galatheidae), off the coast of Coquimbo, northern Chile. *Rev. Biol. Mar.*, 30(1): 57-70.

Wood, S. N. (2006). *Generalized additive models: an introduction with R*. Chapman and Hall/CRC.

Yannicelli, B., & Castro, L. (2013). Ecophysiological constraints on the larvae of *Pleuroncodes monodon* and the implications for its reproductive strategy in poorly oxygenated waters of the Chile-Peru undercurrent. *Journal of plankton research*, 35(3), 566-581.