

Crecimiento alométrico de *Panulirus gracilis* (DECAPODA: PALINURA) asociado a la fase de madurez gonádica

Allometric growth of *Panulirus gracilis* (DECAPODA: PALINURA) associated to the gonad maturity stages

Jennifer Zoe Borrego-Durán¹, Raúl Pérez-González¹, Guillermo Rodríguez-Domínguez²,
Martin Ignacio Borrego², José Adán Félix-Ortiz², Juan Francisco Arzola-González¹,
Yecenia Gutiérrez-Rubio², Jorge Payán-Alejo^{1,2*}

¹Posgrado en Ciencias en Recursos Acuáticos, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. Paseo Claussen s/n, Los Pinos. Ap. 610. Mazatlán, Sinaloa, México.

²Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. Paseo Claussen, s/n, Los Pinos, Ap. 610. Mazatlán, Sinaloa, México.

*Autor de correspondencia: jorge.payan.facimar@uas.edu.mx

Nota científica

Recibida: 23 de julio 2023

Aceptada: 10 de enero 2024

RESUMEN. Se analizó el crecimiento relativo de langosta espinosa *Panulirus gracilis*, con un enfoque de selección multimodelo y la teoría de la información de Akaike. Se realizaron muestreos en capturas comerciales de langosta espinosa del sur de Sinaloa, México entre las temporadas de pesca de 2014 y 2015 y, 2017 y 2018. En 298 hembras de *P. gracilis* se registró la longitud cefalotórax (LC) mm, peso total (PT) g y fase de madurez gonádica. La estructura de tallas varió de 54.6 a 103.1 mm de LC. Se observaron hembras maduras a partir de 57.5 mm de LC, con un incremento de proporción de madurez en tallas mayores. El mejor modelo fue Línea Rota ($W_i=65.09\%$) y Dos Segmentos ($W_i\%=34.87$). El cambio en el crecimiento relativo a la talla en ambos modelos, coincidió con un incremento en la proporción de madurez en tallas mayores a 60 mm de LC en *P. gracilis*.

Palabras clave: Langosta, alometría, madurez, selección multimodelo.

ABSTRACT. The relative growth on spiny lobster *Panulirus gracilis* was analyzed a multimodel selection approach and Akaike information theory. In the carried out samples at the landing commercial of spiny lobster, at the south of Sinaloa, Mexico during season 2014 and 2015, and 2017 and 2018. In 298 female *P. gracilis* individuals were measures caparace length (CL) mm, total weight (W) g, and gonad maturity stages. The structure sizes between 54.6 to 103.1 mm CL. The organism minor size mature was 57.5 mm CL but maturity percent stages rise on larger sizes. The best model was broken stick ($W_i = 65.09\%$) but also two segments has statistic support ($W_i=34.87\%$). A differential relative growth in both models, coincident with a rise in the percent gonad maturity toward big sizes in *P. gracilis*.

Keywords: Lobster, allometric, maturity, multimodel selection.

Como citar: Borrego-Durán JZ, Pérez-González R, Rodríguez-Domínguez G, Borrego MI, Félix-Ortiz JA, Arzola-González JF, Gutiérrez-Rubio Y, Payán-Alejo J (2024) Crecimiento alométrico de *Panulirus gracilis* (DECAPODA: PALINURA) asociado a la fase de madurez gonádica. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 11(1): e3861. DOI: 10.19136/era.a11n1.3861.

INTRODUCCIÓN

En la costa del sur de Sinaloa el recurso pesquero de las langostas espinosas está constituido por las especies *P. gracilis* y *P. inflatus*, la captura específica tiene una dinámica interanual, con amplitud de estructura de tallas de 40 a 120 mm (Pérez-González 2011) y la longitud cefalotórax (LC) promedio varía de 71 a 79 mm de LC en ambas especies (Arzola-González et al. 2011). La reproducción en la langosta espinosa está influenciada por cambios en la temperatura del medio acuático que aceleran el proceso biológico de la reproducción (Pérez-González et al. 2009). La actividad reproductiva de *P. gracilis* y *P. inflatus* ocurre con la transferencia de espermatóforo del macho a la hembra, el cual deposita sobre el esternón de la hembra entre terceros y cuartos pereiópodos y la fecundación es externa, en *P. gracilis* inicia en mayo y termina en noviembre, mientras que en *P. inflatus* se presentan hembras ovígeras durante todo el año con desoves múltiples y continuos (Puga et al. 2015).

Estudios previos de langosta espinosa, señalan que el crecimiento relativo es alométrico negativo para *P. inflatus* y *P. gracilis*, pero es evidente la ausencia de una discusión sólida o robusta sobre el tema (Arzola-González et al. 2011, Pérez-González 2011, Calderón-Rodríguez et al. 2016). Al igual que el modelo de von Bertalanffy en el crecimiento individual de los organismos, en el crecimiento relativo el modelo potencial es usado a priori para inferir el crecimiento isométrico ($b = 3$) o alométrico ($b \neq 3$), pero el exponente b no siempre es constante, entonces la existencia de inflexión en la pendiente b como discontinuidad en el crecimiento relativo de los organismos, se puede inferir mediante modelos de alometría, como se ha observado en algunos organismos marinos (Katsanevakis et al. 2007) y en particular en crustáceos decápodos (Aragón-Noriega et al. 2016, Arvizu-Merín et al. 2021, Leyva-Vázquez et al. 2022).

El crecimiento relativo diferencial se puede observar con un marcado cambio instantáneo en el exponente b , o un cambio continuo del exponente alométrico que podría ocurrir, cuando la madurez favorece el crecimiento relativo de las partes del cuerpo relacionadas con la reproducción, como en algunos crustáceos decápodos en el desarrollo diferencial sexual de apéndices torácicos (pereiópodos) o en la relación longitud-peso, registrando posteriormente restricciones en su tasa de crecimiento relativo (Katsanevakis et al. 2007, Arvizu-Merín et al. 2021, Leyva-Vázquez et al. 2022). Por lo que el modelo potencial está limitado para describir cambios en el crecimiento relativo de los organismos, mientras que Katsanevakis et al. (2007) implementaron un enfoque multimodelo y la teoría de la información, en el análisis del crecimiento relativo de diferentes grupos de organismos marinos. En el presente trabajo se analizó un enfoque multimodelo para describir el crecimiento relativo de *P. gracilis* con la hipótesis que los cambios en el crecimiento relativo están asociados a las fases de desarrollo gonadal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra en la costa del sur de Sinaloa, desde el cerro del Faro Mazatlán hasta Punta Piaxtla (23° 10' y 23° 40' LN y los 106° 30' y 106° 50' LO). Los muestreos biológicos se realizaron en las temporadas de pesca 2014 y 2015 y, 2017 y 2018 (01 de noviembre a 30 de junio). A cada ejemplar capturado se le registró la longitud cefalotórax (LC) en mm, el peso

total (PT) en g, sexo (por dimorfismo sexual: pleópodos birrámeos en hembras y unirrámeos en machos) y en las hembras se determinaron las fases de madurez gonádica con base a sus características externas de ausencia o presencia de cigotos y la coloración de la masa ovígera y se asignó un valor de acuerdo a la tabla de madurez gonádica que va de la fase uno a la seis (Briones-Fourzán y Lozano-Álvarez 1992), pero se consideró hembra madura a los organismos que se encontraron entre las fase dos a seis. En este estudio se analizaron únicamente hembras de *P. gracilis*.

La estructura de tallas se analizó en intervalos de clase de 5 mm de LC. El crecimiento relativo se estimó con las variables biométricas LC y PT, mediante un enfoque multimodelo (Katsanevakis et al. 2007) y se evaluó con una prueba de hipótesis t de Student (Pauly 1984).

$$t = \frac{DE_x}{DE_y} * \frac{|b - 3|}{\sqrt{1 - r^2}} * \sqrt{n - 2}$$

Donde: DE_x : desviación estándar de los valores de LnLC, DE_y : desviación estándar de los valores de LnPT, n: tamaño de muestra, y n-2: grados de libertad (gl).

La selección del enfoque multimodelo, LC y PT se transformaron a su logaritmo natural y se ajustaron a los cinco modelos candidatos (Katsanevakis et al. 2007, Rodríguez-Domínguez et al. 2018).

Modelo lineal $\ln(PT) = a + b_1 \ln(LC)$

Modelo Cuadrático $\ln(PT) = a + b_1 \ln LC + b_2 \ln(LC)^2$

Modelo Cúbico $\ln(PT) = a + b_1 \ln(LC) + b_2 \ln(LC)^2 + b_3 \ln(LC)^3$

Modelo Línea rota (BS)

$\ln(PT) = a + b_1 \ln(LC)$ sí $LC \leq B$

$\ln(PT) = a + (b_1 - b_2) * \ln(B) + b_2 * \ln(LC)$ sí $LC > B$

Modelo de dos segmentos (TS)

$\ln(PT) = a_1 + b_1 \ln(LC)$ sí $LC \leq B$

$\ln(PT) = a_2 + b_2 \ln(LC)$ sí $LC > B$

Donde: PT es el peso total, LC es longitud cefalotórax, a es el intercepto, en el modelo lineal, b es constante $b = b_1$, el modelo cuadrático y cúbico asumen que b cambia continuamente con el incremento en la talla $b = b_1 + 2b_2 * \ln LC$ y $b = b_1 + 2b_2 * \ln LC + 3b_3 * \ln LC^2$ respectivamente, los modelos de línea rota y dos segmentos asumen que b toma dos valores constantes b_1 y b_2 menor y mayor al punto de quiebre donde se encuentra el diferencial del tipo de crecimiento relativo.

Los parámetros se optimizaron maximizando la función objetivo del logaritmo de verosimilitud (Hilborn y Mangel 1997) con el algoritmo de búsqueda de Newton (Neter et al. 1996).

$$LL = \left(-\frac{n}{2}\right) * (\ln(2\pi) + 2 * \ln(\sigma) + 1)$$

Donde: LL = logaritmo de verosimilitud, n = tamaño de muestra y σ = error medio del cuadrado de los errores, asumiendo un error aditivo.

Sigma de verosimilitud

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (LC_i - \hat{LC}_i)^2}{n}}$$

Donde: LC_i = longitud cefalotórax observada y \hat{LC}_i = longitud cefalotórax estimada.

La discriminación entre modelos se realizó con el Criterio de Información de Akaike Corregido (AICc) que incorpora información sobre el ajuste, la complejidad y el tamaño de la muestra (Johnson y Omland 2004).

AICc del modelo j (Akaike 1981, Burnham y Anderson 2002).

$$AIC = 2(K - LL)$$

$$AICc = AIC + \frac{2K(K + 1)}{n - K - 1}$$

Donde: n = número total de observaciones, K = número total de parámetros estimados y LL = la máxima logverosimilitud.

La plausibilidad del modelo i se estimó con el peso de Akaike (PAIC_i).

$$PAIC_i = \frac{\exp(-0.5\Delta_i)}{\sum_{k=1}^n \exp(-0.5\Delta_k)} * 100$$

El PAIC_i es considerado como el peso de evidencia a favor del modelo i de todos los modelos candidatos (Akaike 1981, Burnham y Anderson 2002).

Se analizaron las fases de madurez con base a la estructura de talla, en cada marca de clase de la estructura de tallas se estimó el crecimiento relativo con los parámetros del mejor modelo ajustado y mediante un gráfico de porcentaje de fase de madurez a la talla se asoció el crecimiento relativo.

Finalmente, se estimó la talla media de madurez sexual (LC50) en las hembras maduras de *P. gracilis*, se determinó la proporción de madurez para cada medida en mm de LC de los datos disponibles, convirtiendo la variable en una medida continua, al igual que la relación longitud peso, dado que tradicionalmente un modelo que estima LC50 se ajusta la proporción de madurez a la marca de clase y esta variable es discreta. El modelo utilizado fue Brouwer y Griffiths (2005).

$$P_i = \frac{1}{(1 + e^{-(LC_i - LC_{50})/\beta})}$$

Donde: LC es la Longitud cefalotórax i, LC50 es la talla media de madurez sexual y β es la amplitud de la ojiva de madurez.

El modelo se ajustó maximizando el logaritmo de verosimilitud con la función solver de Excel, con el algoritmo de búsqueda directa de Newton (Neter et al. 1996). El log verosimilitud se obtuvo de la función de probabilidad de la distribución binomial:

$$LL = \sum_{i=1}^n \left[m_i \times \log \left(\frac{p_i}{1 - p_i} \right) + n_i \times \log(1 - p_i) + \log \left(\frac{n_i}{m_i} \right) \right]$$

Donde: m_i es el número de organismos maduros en la talla i , n_i es el número total de organismos presentes en la talla i y p_i es la probabilidad del evento en la talla i .

$$\binom{n_i}{m_i} = \frac{n_i!}{((n_i - m_i)! * m_i!)}, \text{ las combinaciones de } n \text{ en } m.$$

En todos los casos los análisis y procesamientos de la información, se realizó con el programa Microsoft Excel office 2013.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se capturaron 298 hembras de *P. gracilis*, la estructura de tallas fue de 54.8 a 103.1 mm con media de 72.7 ± 7.8 mm de LC (Figura 1). En la pesquería de langosta en el noroeste de México se reporta que para ambos sexos de *P. gracilis* las capturas se realizan en tallas de entre 40 y 120 mm de LC (Pérez-González 2011), pero con frecuencia se capturan organismos mayores de 60 mm de LC (Briones-Fourzán 2014), cuando han alcanzado en promedio un peso total de 300 g que equivalen a tallas de entre 66.2 y 71.9 mm de LC. Además, la langosta espinosa *P. gracilis* cuando alcanzan los 70 mm de LC presenta alrededor de 300 g de peso (Pérez-González 2011), siendo este valor la talla mínima de captura para esta especie. La media obtenida en LC se ubicó ligeramente por encima del intervalo de LC mencionado para la captura de langosta en la zona sur de Sinaloa, México. La dispersión de los datos LC-PT y los valores de alometría a la talla con base a los modelos se observan en la Figura 2.

El orden jerárquico de la selección multimodelo, indicó que el modelo Línea Rota (WAIC = 69.16%) es el de mejor ajuste a los datos LC-PT, seguido del modelo de Dos Segmentos (WAIC = 30.55%), mientras que los modelos Cuadrático, Cúbico y Lineal, presentaron bajo porcentaje de ajuste ($\Delta AIC > 7$) al tipo de crecimiento relativo de *P. gracilis* (Tabla 1). Cabe aclarar que el crecimiento relativo se analizó solo en hembras, con la finalidad de asociarlo a la fase de madurez gonádica, pero en estudios previos el crecimiento relativo se ha estimado en sexos agrupados de *P. gracilis* y *P. inflatus*. Tradicionalmente la determinación se realiza con el modelo potencial (Pérez-González 2011, Arzola-González et al. 2011, Calderón-Rodríguez et al. 2016), que define un mismo tipo de crecimiento relativo para todos los datos de LC-PT, pero eso imposibilita la asociación del crecimiento relativo a las fases de madurez gonádica. En cambio modelos que estiman diferentes ritmos de crecimiento con base a la LC-PT, pueden implementarse para el análisis de información biológica asociada a procesos fisiológicos, como el factor de condición y la actividad reproductiva (Rodríguez-Domínguez et al. 2018).

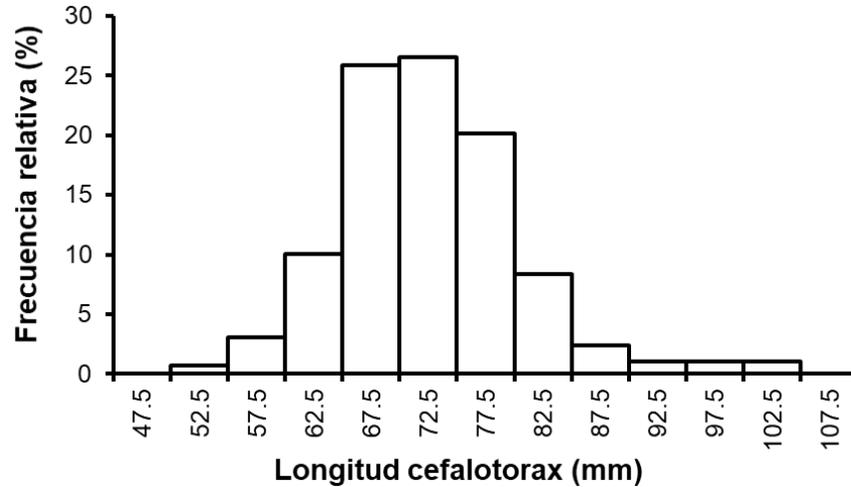


Figura 1. Estructura de tallas de hembras de *P. gracilis*.

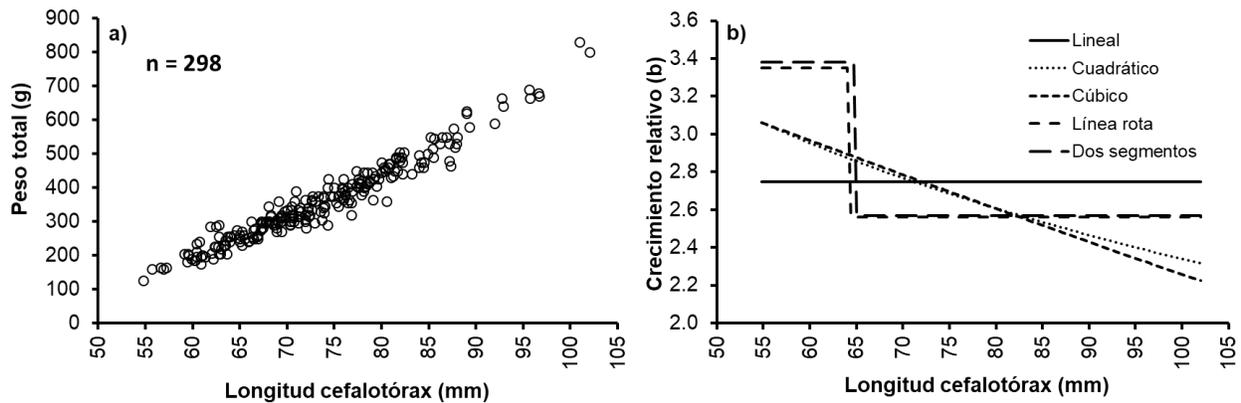


Figura 2. a) Dispersión de los datos longitud peso y b) Crecimiento relativo de hembras en la langosta *P. gracilis*.

Tabla 1. Desempeño de los modelos en la descripción del crecimiento relativo de *P. gracilis* con base al AIC.

Modelo	AIC	ΔAIC	$e^{(-0.5 \cdot \Delta AIC)}$	W_i
Lineal	-528	34.92	0.00	0
Cuadrático	-552	10.05	0.01	0.45
Cúbico	-548	14.48	0.00	0.05
Línea rota	-562	0	1	69.01
Dos Segmentos	-561	1.63	0.44	30.48

En crustáceos decápodos se ha observado cambios morfológicos entre el cefalotórax y su talla, generalmente durante su desarrollo (Diawol *et al.* 2015) y estos cambios morfológicos en crustáceos por lo general corresponden a fases entre juveniles y adultos (Arvizu-Merín *et al.* 2021, Pereira-Santos *et al.* 2023). Además, en otros crustáceos posiblemente en adultos por el dimorfismo sexual mediante el desarrollo de apéndices torácicos más largos en machos que en

hembras a una misma talla (Jáuregui-Velázquez y Bárcenas-Gutiérrez 2017). Es posible que los estudios mencionados presenten variación en el comportamiento del crecimiento relativo por su desarrollo y sexo (Arvizu-Merín et al. 2021, Pereira-Santos et al. 2023). En este estudio, el modelo potencial confirma un crecimiento alométrico negativo descrito previamente en las especies *P. gracilis* y *P. inflatus* (Pérez-González 2011, Arzola-González et al. 2011, Calderón-Rodríguez et al. 2016), pero el modelo no tiene soporte estadístico ($\Delta AIC = 34.9$) sobre los datos (Burnham y Anderson 2002), lo que estaría subestimando y sobreestimando el tipo de crecimiento en tallas menores y mayores de 65 mm de LC respectivamente, dado que el mejor modelo fue Línea Rota el cual describe un crecimiento relativo en dos etapas, diferenciado por un punto de quiebre a los 64.2 mm de LC, apoyado por el modelo de Dos Segmentos con un soporte estadístico (Delta = 1.2) y un crecimiento diferencial a los 64.8 mm de LC. En la primera etapa en tallas menores a 65 mm de LC, los organismos experimentan un crecimiento mayor en peso que en talla, mientras que en la segunda etapa en tallas mayores a 65 mm de LC, el crecimiento de los organismos es inverso.

En los modelos de crecimiento relativo, de acuerdo a Hilborn y Walter (1992) no se debe hacer un ajuste visual a los datos, sin embargo, en los datos de *P. gracilis* en la relación longitud-peso, Arzola-González et al. (2011), presentaron una inflexión del peso a una talla muy similar a la estimada por los modelos Línea Rota y Dos Segmentos, pero estos últimos autores no utilizaron una selección multimodelo, y solamente el modelo potencial describe un crecimiento alométrico negativo, además sus datos morfométricos de *P. gracilis* en su mayoría son de organismos de tallas mayores a 65 mm de LC, y con ello, se observó un crecimiento diferenciado a los 65 mm (LC) y resultando un crecimiento estimado como alométrico negativo. En las fases de madurez gonádica de hembras de *P. gracilis*, se observaron organismos maduros a partir de 57.5 mm de LC, con un incremento acelerado de hembras maduras hacia las tallas mayores. Al asociar la madurez con el crecimiento relativo, se observó un crecimiento relativo diferenciado a la talla con respecto al 50% de madurez (Figura 3).

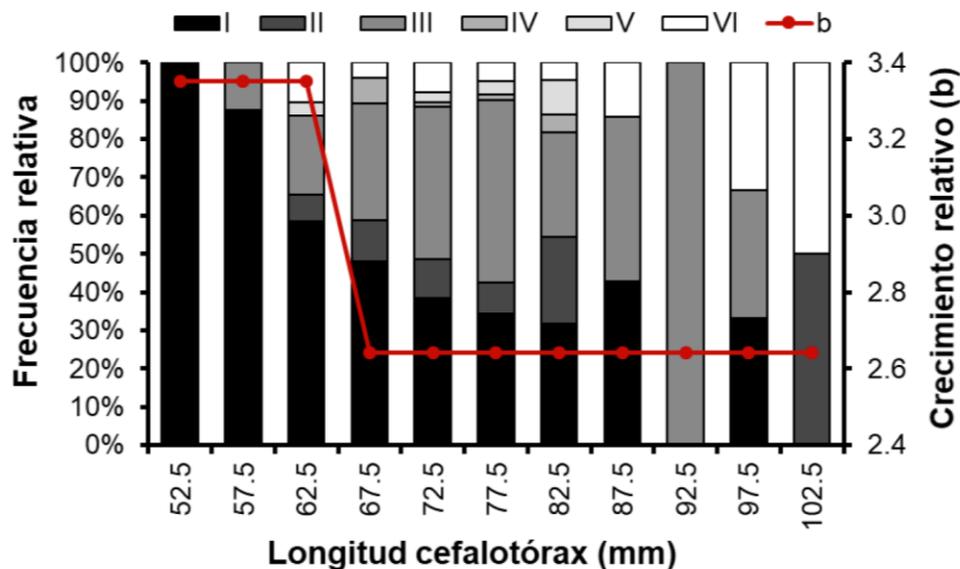


Figura 3. Fases de madurez y crecimiento relativo de hembras de la langosta *P. gracilis*.

Al analizar las fases de madurez gonádica de los organismos, se identificaron hembras de *P. gracilis* en fase II (con espermatóforo adherido en la parte ventral del cefalotórax) en tallas menores a 60 mm de LC, lo que sugiere que las hembras se encuentran sexualmente maduras. En estudios de reproducción de langosta, se identificaron hembras maduras a partir de tallas de 54 y 66 mm de LC en *P. gracilis* y *P. inflatus*, respectivamente (Puga et al. 2015). Pero Briones-Fourzán y Lozano-Álvarez (1992) reportaron hembras de *P. gracilis* maduras en tallas de 49.4 mm de LC. El porcentaje de hembras en fases de madurez gonádica más avanzadas (III, IV, V y VI), se incrementaron rápidamente en tallas mayores a 60 mm de LC, lo que coincidió con el crecimiento relativo diferencial estimado por los modelos Línea Rota y Dos segmentos. En este cambio del comportamiento del crecimiento relativo en tallas de hembras de alométrico positivo a negativo, se infiere que las hembras incrementan su crecimiento en talla, pero no en peso, lo que le permite a una langosta hembra de *P. gracilis* tener un mayor tamaño abdominal para la incubación de huevos durante el periodo reproductivo, esto puede ser una estrategia reproductiva que garantiza mayor cantidad de huevos o fecundidad de las hembras de langosta espinosa. De acuerdo con la SAGARPA (2016) en ambos sexos de *P. gracilis* a una misma longitud cefalotorácica de 82.5 mm; a una hembra la longitud abdominal (LA) equivale a 175 mm, mientras que, en machos a 160 mm de LA, resultando en una clara diferenciación en el crecimiento relativo en tallas entre ambos sexos de *P. gracilis*.

En la Figura 4, se muestra la proporción de madurez a la talla, se consideró hembras maduras a los organismos que se encontraron entre las fases dos a seis y la talla (mm) fue una variable continua, el modelo estima una talla media de madurez sexual (L50) en 66.4 mm de LC. En un estudio histológico sobre la reproducción de una especie simpátrica (*P. inflatus*), se encontró que el 50% de la proporción acumulada de hembras maduras se observó a los 63.73 mm de LC (Pérez-González et al. 2009) y que la proporción de hembras maduras se incrementó rápidamente en el intervalo de 62 mm de LC, esos resultados coincidieron con el punto de inflexión en los modelos de Línea Rota (64.2 mm de LC) y Dos Segmentos (64.8 mm de LC), además, ambos modelos soportan un crecimiento relativo diferencial en *P. gracilis* asociado a la madurez gonádica. En otros cangrejos decápodos Pereira-Santos et al. (2023) determinaron en *Libinia spinosa* una madurez gonadal diferencial por sexo, registrando una maduración de la gónada primero en machos que hembras a una misma talla, además estos autores asociaron la maduración con el crecimiento relativo, encontrando puntos de inflexión distintos entre juveniles y adultos.

El análisis de la madurez de *P. gracilis* con el método de estimación de LC50, considerando la longitud como variable continua calculó una LC50 de 66.4 mm de LC, al comparar la LC50 con el cambio en el ritmo de crecimiento relativo se observa una diferencia de 2.2 y 1.6 mm de LC con los modelos Línea Rota y Dos Segmentos respectivamente. En este estudio no se pretende implementar modelos de alometría para estimar la LC50, sino identificar cambios en el crecimiento relativo asociados a procesos fisiológicos como la madurez gonádica de los organismos. Los resultados del estudio indican que *P. gracilis* presenta un crecimiento diferencial en el crecimiento relativo (de alométrico positivo a negativo), con base a la longitud cefalotórax y peso total, asociado a las fases de madurez gonádica.

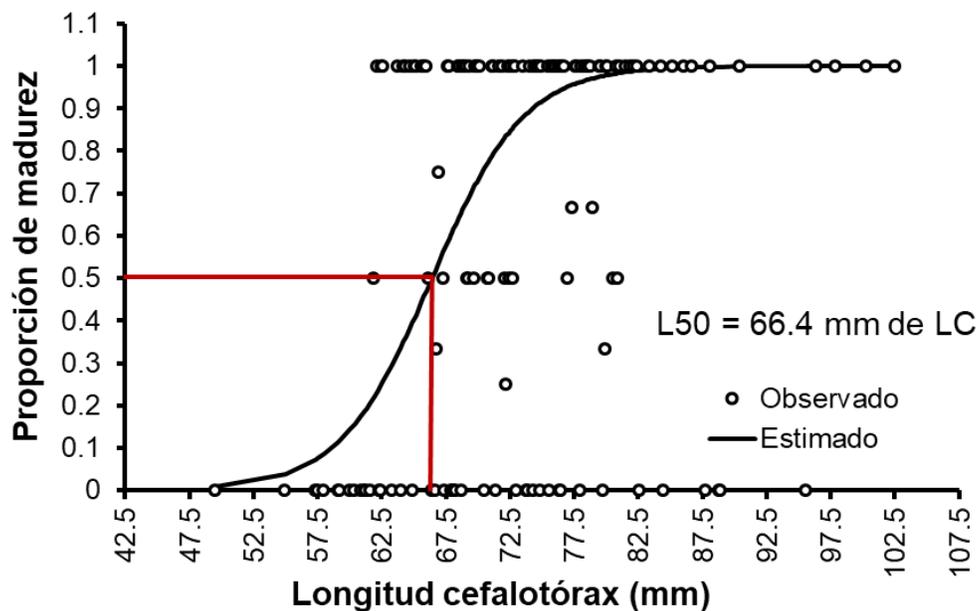


Figura 4. Proporción de madurez (fase dos a seis) a la longitud cefalotórax de las hembras de *P. gracilis*.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por la beca otorgada del primer autor (CVU: 415832). A las Sociedades Cooperativas dedicadas a la pesquería de langosta en Mazatlán, Sinaloa por su apoyo en los muestreos de campo.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

No se cuenta con información complementaria.

LITERATURA CITADA

- Akaike H (1981) Likelihood of a model and information criteria. *Journal of Econometrics* 16(1): 3-14.
- Aragón-Noriega EA, Mendivil-Mendoza JE, Alcántara-Raso E, Valenzuela-Quiñonez W, Félix-Ortiz JA (2016) Multi-criteria approach to estimate the growth curve in the marine shrimp *Penaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) con un enfoque multimodelo. *Crustaceana* 90: 1517-1531.

- Arzola-González JF, Pérez-González R, Muñoz-García I, Gutiérrez-Rubio Y, Flores-Campaña LM (2011) Distribución de tallas de langostas *Panulirus inflatus* y *P. gracilis* en la pesquería del sur de Sinaloa, México. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales 7: 15-20.
- Arvizu-Merín CA, Arzola-González JF, Felix-Ortiz JA, Rodríguez-Domínguez G, Marín-Enríquez E, Aragón-Noriega, EA (2021) Allometry of the box crab *Callapa convexa* (Brachyura: Calappidae) in the southeastern Gulf of California. Crustaceana 94: 1407-1427.
- Briones-Fourzán P, Lozano-Álvarez E (1992) Aspects of the reproduction of *Panulirus inflatus* (Bouvier) and *P. gracilis* Streets (Decapoda: Palinuridae) from the Pacific coast of Mexico. Journal of Crustacean Biology 12: 41-50.
- Brouwer SL, Griffiths MH (2005) Reproductive biology of carpenter seabream (*Argyrozona argyrozona*) (Pisces: Sparidae) in a marine protected area. Fishery Bulletin 103: 258-269.
- Burnham KP, Anderson DR (2002) Model selection and inference: A practical information-theoretic approach. 2nd Edition. Springer-Verlag, New York. 488p.
- Calderón-Rodríguez A, Pérez-Lozano G, Robles-Carrillo C, Castrejón Pineda JA, Palma-Cruz M, Cortes-Hernández M (2016) Estructura de la población y talla de primera madurez sexual de la langosta espinosa *Panulirus inflatus* en el Parque Nacional Isla Isabel, Nayarit, México. Acta Pesquera 2: 31-43.
- Diawol VP, Giri F, Collins PA (2015) Shape and size variations of *Aegia uruguayana* (Anomura: Aeglididae) under laboratory conditions: a geometric approach to the growth. Iheringia Série Zoológica 105: 76-83.
- Hilborn R, Walters CJ (1992) Quantitative fisheries stock assessment: Choice, dynamics and uncertainty. Chapman & Hall. E.U.A. 576p.
- Hilborn R, Mangel M (1997) The ecological detective: confronting models with data, Vol. 28. Princeton University Press. E.U.A. 336p.
- Jáuregui-Velázquez EM, Bárcenas-Gutiérrez SQ (2017) Estructura de tallas de *Macrobrachium tenellum* (Decapoda: Palaemonidae) en el estero El Salado, Puerto Vallarta, Jalisco, México. Biología, Ciencia y Tecnología 10: 656-671.
- Johnson JB, Omland, KS (2004) Model selection in ecology and evolution. Trends Ecology and Evolution 19: 101-108.
- Katsanevakis S, Thessalou-Legaki M, Karlou-Riga C, Lefkaditou E, Dimitriou E Verriopoulos G (2007) Information-theory approach to allometric growth of marine organisms. Marine Biology 151: 949-959.
- Leyva-Vázquez Y, Arzola-González JF, Rodríguez-Domínguez G, Ramirez-Perez JS, Ortega-Lizárraga GG, Felix-Ortiz JA, Aragón-Noriega EA (2022) Two new equations to evaluate allometry in the blue shrimp *Penaeus stylirostris* (Decapoda: Penaeidae) in a coastal lagoon from the Gulf of California. Crustaceana 95: 421-438.
- Neter J, Kutner MH, Nachtsheim CJ, Wasserman W (1996) Applied linear statistical models. Chicago: Irwin. USA. 318p.
- Pauly D (1984) Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with calculators. ICLARM Studies and Reviews 8, Manila: 325 p.
- Pereira-Santos M, Fransozo V, Golcalves GR, Caetano Da Costa R, Negreiros-Fransozo L (2023) Relative growth and sexual maturity of the spider crab *Libinia spinosa* (Brachyura: Majoidea: Epialtidae), from the southeast Brazilian coast. Invertebrate Reproduction & Development 67: 37-46. <https://doi.org/10.1080/07924259.2023.2175731>
- Pérez-González R (2011) Composición de la captura de la langosta espinosa *Panulirus gracilis* (Decapoda: Palinuridae) en la costa oeste de México. Latin American Journal of Aquatic Research 39: 225-235.
- Pérez-González R, Puga-López D, Castro-Longoria R (2009) Ovarian development and size at sexual maturity of the Mexican spiny lobster *Panulirus inflatus*. New Zealand Journal and Fresh Water Research 43: 163-172.
- Puga-López D, Patiño-Valencia JL, Hernández-Covarrubias V, Ulloa-Ramírez PA, Torres-Herrera MR, Ponce-Palafox JT (2015) Aspectos reproductivos de la langosta espinosa *Panulirus* spp. en las costas de Nayarit, México. Ciencia Pesquera 23: 13-24.
- Rodríguez-Domínguez G, Castillo-Vargasmachuca SG, Pérez-González R, Aragón-Noriega EA (2018) Allometry in *Callinectes bellicosus* (Stimpson, 1859) (Decapoda: Brachyura: Portunidae): single-power model versus multi-model approach. Journal of Crustacean Biology 38: 574-578.
- SAGARPA (2016) Norma Oficial Mexicana NOM-006-SAG/PESC-2016, para regular el aprovechamiento de todas las especies de langosta en las aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe, así como del Océano Pacífico incluyendo el Golfo de California. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5451782&fecha=07/09/2016#gsc.tab=0. Fecha de consulta: 13 de mayo de 2023.