



Crecimiento de la langosta verde *Panulirus gracilis* (Decapoda: Palinuridae) en Manabí, Ecuador: Aplicación de modelo de simulación de crecimiento

Growth of the green lobster *Panulirus gracilis* (Decapoda: Palinuridae) from Manabí, Ecuador: Application of growth simulation model

Autores

✉ ¹*Ricardo Castillo

✉ ¹David Mero-del Valle

✉ ²Juan Figueroa

✉ ¹Dayanara Macías

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí (ULEAM), Ciudadela Universitaria, Manta, Ecuador.

²Departamento Central de Investigación, Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí (ULEAM), Manta, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Citación sugerida: Castillo, R., Mero-del Valle, D., Figueroa, J. y Macías, D. (2022). Crecimiento de la langosta verde *Panulirus gracilis* (Decapoda: Palinuridae) en Manabí, Ecuador: Aplicación de modelo de simulación de crecimiento. *La Técnica*, 12(1), 1-9. DOI: https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i27.3564

Recibido: Octubre 14, 2021

Aceptado: Diciembre 20, 2021

Publicado: Enero 05, 2022

Resumen

La langosta *Panulirus gracilis* es un recurso ampliamente explotado en Ecuador. Por ende, los estudios de crecimiento son indispensables para la conservación y sostenibilidad de la población que se dedica a la producción de este recurso. Se registraron un total de 539 organismos con talla promedio de $72,9 \pm 12,49$ mm de longitud cefalotorácica (LC), siendo el mes de julio la que presentó mayor cantidad de organismos ($n=214$). La longitud cefalotorácica se estimó mayor en machos $LC_{\infty}=129,1$ ($r^2=0,842$) que en hembras $LC_{\infty}=110,6$ ($r^2=0,897$). De la misma forma las constantes de crecimiento fueron $K=0,28$ ($S=1,00$) y $K=0,21$ ($S=0,889$) para machos y hembras, respectivamente. El 90% de la captura estuvo debajo de la talla legal de captura establecida para el recurso. Los machos tuvieron un crecimiento más acelerado que las hembras lo cual les permitió alcanzar longitudes superiores. El modelo para simular el crecimiento presentó una complejidad matemática media-alta; sin embargo, al ser desarrollado en un software su uso y utilidad representa una herramienta adecuada para evaluar el crecimiento en la langosta *P. gracilis* y aportar al desarrollo de medidas de manejo más adecuadas para el recurso.

Palabras clave: *Panulirus gracilis*; simulación de crecimiento; coeficiente de crecimiento.

Abstract

The lobster *Panulirus gracilis* is a widely exploited resource in Ecuador. Therefore, growth studies are essential for the conservation and sustainability of the population that is dedicated to the exploitation of this resource. A total of 539 organisms with an average size of 72.9 ± 12.49 mm cephalothoracic length (CL) were recorded, with the month of July being the month with the highest number of organisms ($n=214$). Cephalothoracic length was estimated to be greater in males $LC_{\infty}=129.1$ ($r^2=0.842$) than in females $LC_{\infty}=110.6$ ($r^2=0.897$). In the same way, the growth constants were $K=0.28$ ($S=1.00$) and $K=0.21$ ($S=0.889$) for males and females, respectively. The 90% of the catch was below the legal catch size established for the resource. Males have a faster growth than females which allows them to reach greater lengths. The model to simulate growth presented a medium-high mathematical complexity, however, being developed in software, its use and usefulness represents an adequate tool to evaluate growth in the lobster *P. gracilis* and contribute to the development of more efficient management measures. suitable for the resource.

Keywords: *Panulirus gracilis*; growth simulation; growth rate.



Introducción

La pesca en Ecuador desde sus inicios se ha considerado como una actividad que ofrece recursos ilimitados; no obstante, en las últimas décadas se han evidenciado de forma más acentuada la disminución de los recursos marinos, problema causado principalmente por su sobreexplotación y la falta de políticas con bases científicas sólidas enfocadas al manejo sustentable de estos recursos (Figueroa y Mero, 2013; Instituto de Investigaciones Marinas (NAZCA), 2014).

La langosta *Panulirus gracilis* (Streets, 1871) en la costa continental del Ecuador ha representado una fuente importante de ingresos económicos para los pescadores artesanales desde los inicios de su pesquería (Villón et al., 2000). Sin embargo, periódicamente se ha evidenciado la disminución de las poblaciones de este recurso (Loesch y López, 1966; Cun y Campos, 1993; Villón et al., 2000). A pesar de que la explotación de *P. gracilis* en la costa continental del Ecuador es artesanal, y la ejercen poblaciones de bajos ingresos y nivel educativo (Castillo et al., 2013), este recurso ha sido afectado significativamente, como lo muestran las últimas publicaciones en las cuales evidencian que más del 90% de la captura de *P. gracilis* se encuentra por debajo de la talla legal (26 cm de longitud total (LT)) (Acuerdo ministerial n°. 182) en Santa Elena (Murillo et al., 2013), en Manabí (Castillo et al., 2013) y en Esmeraldas (Castleberry y Riebensahm, 2011).

Dada la contribución que ofrece la pesca a la alimentación, empleo y desarrollo de los pueblos, la conservación y el uso sustentable del recurso langosta *P. gracilis* en la costa continental de Ecuador, toma mayor importancia.

En este sentido, para el manejo adecuado de los recursos pesqueros, un pilar fundamental son los estudios de crecimiento, incluso necesarios para realizar otros tipos de estudios como análisis de población virtual (APV) y cohortes (Zetina y Ríos, 2000). Pauly y David (1981) describieron el crecimiento como el incremento anual en talla o peso que tiene una especie; junto a ello existe una amplia diversidad de métodos para estudiar el crecimiento en peces, aunque estos se encuentran basados principalmente en el análisis de estructuras duras como los otolitos (Gulland y Rosenberg, 1992). En los crustáceos la estimación del crecimiento es un proceso más complejo, pues estos organismos no cuentan con este tipo de estructuras duras que permitan determinar la edad en función de su talla (Brown y Caputi, 1985).

Diferentes métodos han sido desarrollados para modelar el crecimiento de los crustáceos: modelos de crecimiento continuos, modelos de crecimiento continuos por temporada,

análisis de frecuencia de tallas, modelos de muda en procesos continuos, modelos de incremento por muda y modelos de periodos de intermuda (Yi-Jay et al., 2012). Entre ellos se destacan los modelos que analizaron los procesos de muda e intermuda a partir de experimentos de marcaje y recaptura, los cuales fueron considerados como los más idóneos y precisos (Briones y Lozano, 2003; Ramírez et al., 2010). Sin embargo, los experimentos de marcaje y recaptura requieren de gran esfuerzo y amplio presupuesto, además de presentar porcentajes bajos de recapturas (Wlnstanley, 1976; Briones y Lozano, 2003; González et al., 2009).

Estos problemas de logística que acarrearán los experimentos de marcaje y recaptura han determinado la necesidad de utilizar modelos para la estimación de crecimiento más accesibles e igual de precisos; en este sentido, los modelos a partir de las frecuencias de tallas como el propuesto por Gulland y Rosenberg (1992) tomando ventaja, y aunque se basaron en modelos continuos como el de von Bertalanffy (1934), se ha determinado que estiman adecuadamente los índices de crecimiento de la langosta *P. gracilis*, aun cuando la presentación continua del crecimiento para un crustáceo no sea la adecuada (Naranjo, 2011; Castillo et al., 2013).

Respondiendo a estas necesidades se desarrolló una aplicación estadística denominada “Modelo de simulación de crecimiento de Langosta” (Castillo et al., 2014a), herramienta que permite modelar el crecimiento escalonado que presentan las langostas, mediante el ingreso de los parámetros de crecimiento obtenidos previamente.

Por lo mencionado anteriormente, el objetivo de este estudio fue estimar los parámetros de crecimiento de la langosta verde *P. gracilis* y representarlo mediante un modelo que simula el crecimiento escalonado de la langosta *P. gracilis* con el fin de determinar su efectividad, y presentar información útil dirigida a la evaluación y manejo adecuado del recurso.

Metodología

Este estudio se realizó en el desembarcadero “Playita Mía” en la playa de Tarqui, perteneciente a la ciudad de Manta, provincia de Manabí, Ecuador. “Playita Mía” es el mayor centro de acopio de pesca en la ciudad, donde se comercializa varios productos pesqueros provenientes principalmente del sur de la provincia (Puerto Cayo, Machalilla, Puerto López y Salango) (figura 1).

Al no contar con una flota pesquera dedicada exclusivamente a la extracción de langosta, el mercado local cubre su demanda con producto capturado en otras caletas pesqueras de la provincia de Manabí, es así, que el mayor porcentaje de langosta verde *P. gracilis* que se comercializa en Playita Mía proviene del sur

de la provincia, de sectores como Puerto López, Puerto Cayo, Machalilla y Salango.

Mapa de Ubicación

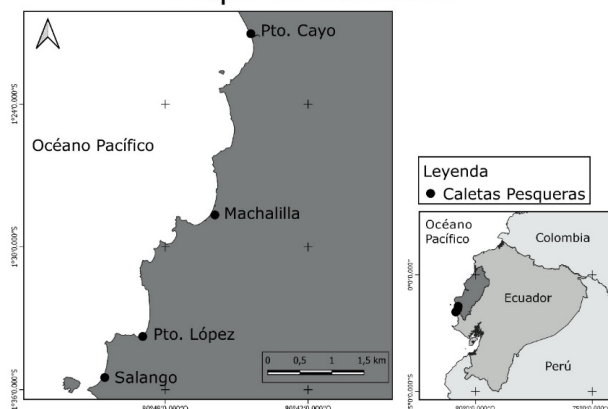


Figura 1. Área de estudio y ubicación de las caletas pesqueras, señaladas con puntos.

Recolección de la muestra

La frecuencia de monitoreo fue diaria entre los meses de junio a noviembre de 2013, durante la temporada de pesca 2013-2014. Las langostas monitoreadas fueron clasificadas por sexo, de acuerdo con sus características externas de dimorfismo sexual, y se midió la longitud cefalotorácica (LC) a partir de la escotadura entre los cuernos supraorbitales hasta el extremo posterior del cefalotórax. Las medidas se tomaron utilizando un calibrador vernier (precisión $\pm 0,01$ mm) y los valores fueron expresados en milímetros (mm). Los organismos fueron clasificados por rango de tallas de 5 mm.

Los análisis estadísticos se realizaron en el software INFOSTAT 11 (Di Rienzo et al., 2012). Se utilizaron histogramas de distribución de frecuencias y análisis de varianza (ANOVA) de una vía para determinar posibles diferencias entre los promedios de longitud cefalotorácica (LC) por sexo mediante la prueba de Tukey.

Crecimiento

Para la estimación de los parámetros de crecimiento se utilizaron diferentes metodologías para determinar qué resultados se ajustaron más a la realidad biológica del recurso. Los análisis se realizaron por separado para machos y hembras.

La longitud asintótica de un crustáceo, que representa la longitud máxima que alcanzó la especie, puede ser complicada de estimar, por ende, se usó el procedimiento descrito por Hearn (2002-2004), el cual permitió obtener varias aproximaciones.

Se obtuvo longitudes cefalotorácicas asintóticas (LC_{∞}) preliminares, a través del método descrito por Pauly (1983) y el método propuesto por Hearn (2001). El modelo de Pauly (1983) calculó la longitud asintótica a partir de la consideración del organismo de mayor talla, así se tiene que:

$$LC_{\infty} = LC_{\max}/0,95.$$

Hearn (2001) sugirió ajustar el método de Pauly (1983) utilizando el promedio de los cinco organismos más grandes como longitud cefalotorácica máxima ($LC_{\max}$).

Teniendo como referencias las aproximaciones obtenidas con los métodos de Pauly (1983) y Hearn (2001) se calculó la LC_{∞} con el método de Powell-Wetherall (1987) presente en la sub-rutina del programa FISAT II (Gayanilo et al., 2005). La LC_{∞} se obtuvo a partir de la regresión:

$$(L-L') = a + b \cdot L'$$

Dónde:

$$LC_{\infty} = -a/b.$$

$$Z/K = -(1+b)/b.$$

Para estimar el coeficiente de crecimiento (K) se aplicó el método SLCA (Shepherd, 1987) el cual se basa en una función de coseno:

$$K = \frac{\sin \pi(t_{\min} - t_{\max})}{\pi(t_{\min} - t_{\max})} \cos 2\pi(t_{\text{prom}} - t_s)$$

Dónde, $t_{\max}$: edad máxima (límite superior), $t_{\min}$: edad mínima (límite inferior), t_{prom} : edad promedio, t_s : fracción de tiempo en un año.

Modelación de crecimiento

El crecimiento escalonado se representó mediante la aplicación Modelo de simulación de crecimiento de Langosta (Castillo et al., 2014a), el cual permitió modelar el crecimiento escalonado de la langosta entre mudas o entre periodos a través de una función logística (Cobo, 2013):

$$L_i(t) = a_i + \frac{b_i}{1 + e^{-c_i(t-w_i)}}$$

Dónde: a_i , b_i y c_i fueron parámetros calculados por el software, w_i : punto medio del intervalo.

A partir de esta función logística se estableció un modelo global que representó el crecimiento de la langosta *P. gracilis*, el cual une los periodos de crecimiento por nodos de interpolación calculados a partir del modelo de von Bertalanffy (1934):

$$(t_i, z_i) \text{ para } i = 0, 1, \dots, n+1, \quad \text{siendo } z_i = \begin{cases} vb(t_i) & \text{para } i = 0, 1, \dots, n \\ L_{\infty} & \text{para } i = n+1 \end{cases}$$

Resultados

Estructura poblacional

Se examinó un total de 539 organismos (260 machos y 279 hembras) con talla promedio de $72,90 \pm 12,49$ mm LC (tabla 1). Comparando las medias de tallas entre machos y hembras se comprobó que no hubo diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P = 0,1281$).

Se evidenció la presencia de un elevado porcentaje (99%) de organismos que no contaron con la talla mínima legal de captura

(260 mm de LT o 103 mm de LC). La mayor parte de la captura se concentró entre el rango de tallas de 650 a 790 mm de LC (figura 2).

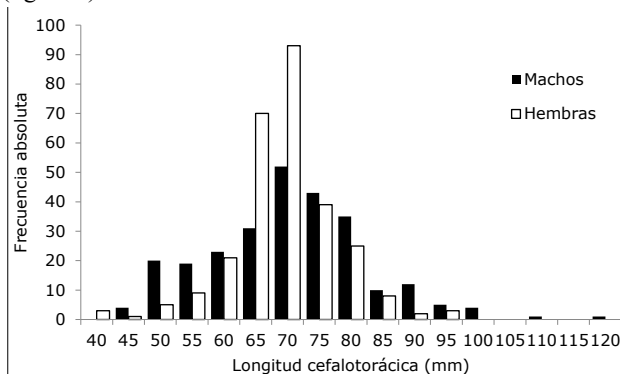


Figura 2. Frecuencia por clase de talla de *P. gracilis* de junio a noviembre de 2013 en el sur de Manabí.

Crecimiento

Los resultados obtenidos a través de las diferentes metodologías para estimar las LC_{∞} determinaron que los machos alcanzan una LC_{∞} superior a las hembras en todos los casos. Sin embargo, los resultados de LC_{∞} obtenidos por el método de Powel-Wetherall (1987) (129,1 mm ($r^2=0,842$), 110,6 mm ($r^2=0,897$)) para machos y hembras, respectivamente, se ajustaron más a la realidad biológica de la especie y se utilizaron para modelar el crecimiento (tabla 2).

Tabla 1. Ejemplares machos y hembras de *P. gracilis* e intervalo de tallas, media y desviación estándar mensuales. Temporadas de pesca 2013-2014 en el sur de Manabí.

Mes	Sexo	N	LC (mm) $\pm$ DE	Rango LC (mm)
Junio	Machos	56	78,90 $\pm$ 8,17	61,70-112,70
	Hembras	36	75,60 $\pm$ 5,26	63,10-84,20
Julio	Machos	85	78,00 $\pm$ 9,89	58,30-124,30
	Hembras	129	72,34 $\pm$ 5,47	59,50-98,90
Agosto	Machos	22	76,70 $\pm$ 11,76	63,70-104,40
	Hembras	36	71,90 $\pm$ 7,27	61,00-88,20
Septiembre	Machos	44	58,90 $\pm$ 9,44	45,40-77,20
	Hembras	29	62,09 $\pm$ 10,44	42,00-75,50
Octubre	Machos	36	68,80 $\pm$ 11,16	51,50-102,70
	Hembras	35	70,80 $\pm$ 11,09	50,00-99,20
Noviembre	Machos	17	67,70 $\pm$ 13,26	53,00-96,00
	Hembras	14	73,80 $\pm$ 8,47	59,80-88,00
Total	Machos	260	72,90 $\pm$ 12,49	45,40-124,30
	Hembras	279	71,52 $\pm$ 8,90	42,00-99,20

Tabla 2. Parámetros de crecimiento de *P. gracilis* en el sur de Manabí durante la temporada 2013-2014.

Método	Sexo	Parámetro de crecimiento	Resultado (r^2/S)
Pauly (1983)	Macho	LC_{∞}	130,84
Pauly (1983)	Hembra	LC_{∞}	104,42
Hearn (2001)	Macho	LC_{∞}	115,18
Hearn (2001)	Hembra	LC_{∞}	100,04
Powel-Wetherall (1987)	Macho	LC_{∞}	129,1 ($r^2=0,842$)
Powel-Wetherall (1987)	Hembra	LC_{∞}	110,6 ($r^2=0,897$)
Shepherd (1987)	Macho	K	0,28 ($S=1,00$)
Shepherd (1987)	Hembra	K	0,21 ($S=0,889$)

De la misma forma, el coeficiente de crecimiento también fue superior en machos con relación a las hembras, indicando que los machos presentaron una tasa de crecimiento superior a la de las hembras. Las puntuaciones S fueron de 1,00 y 0,889 para machos y hembras, respectivamente.

El modelo de crecimiento empleado grafica el crecimiento escalonado de la langosta *P. gracilis*, demostrando también que a la edad de 1 año, se observó una diferencia de tallas entre machos y hembras; es decir, que a una misma edad los machos tuvieron una mayor talla. El crecimiento acelerado en los machos se pronunció más durante su etapa de vida, hasta alcanzar unos 20 mm LC más que las hembras (figura 3).

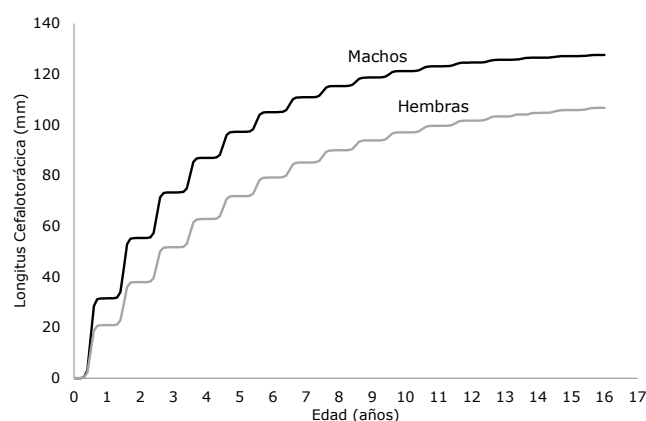


Figura 3. Crecimiento escalonado en *P. gracilis* para machos ($LC_{\infty}=129,1$; $K=0,28$) y hembras ($LC_{\infty}=110,6$; $K=0,21$) en el sur de Manabí.

El modelo mostró un escalonamiento anual, que se entendió como un proceso de muda al año. No obstante, el software permitió ingresar el número de mudas por años si se cuenta con esa información o si se aplican otras metodologías para estimación de crecimiento.

Discusión

Estructura de las tallas

Los resultados del presente estudio mostraron tallas medias superiores a los 70 mm de LC en contraste con lo publicado por Castillo et al. (2014b), quienes presentaron tallas medias inferiores a los 60 mm de LC en Jaramijó (centro de la provincia de Manabí). No obstante, la mayor parte de los organismos no alcanzaron la talla legal definida para la captura de langostas en la costa continental de Ecuador (260 mm de LT o 130 mm de LC). Este fenómeno se pudo observar en toda la costa continental de Ecuador (Castleberry y Riebensahm, 2011; Castillo et al., 2013; 2014b; Figueroa y Mero, 2013; Murillo et al., 2013) y demostró que la situación problemática de la pesquería de la langosta *P. gracilis* fue similar en esta región del Pacífico Oriental, y de acuerdo con Vega et al. (2013) esto fue un efecto que estuvo directamente relacionado con la intensa actividad extractiva.

Se evidenció una elevada cantidad de organismos juveniles en las capturas; es decir, organismos que no alcanzaron la talla de reproducción. Esto también ha sido reportado en otras zonas de Ecuador (Castleberry y Riebensahm, 2011; Figueroa y Mero, 2013; Murillo et al., 2013), inclusive a nivel regional a lo largo de toda la zona de distribución de la especie como lo indicaron Velázquez y Gutiérrez (2006) en Nicaragua; Arzola et al. (2007) en México; Ordinola et al. (2007) en Perú; Salazar (2007) en El Salvador; Naranjo (2011) en Costa Rica; Pérez (2011) en México; Vega et al. (2013) en Panamá. La captura de organismos juveniles reveló un preocupante escenario respecto a la conservación del recurso en toda su zona de distribución, ya que no se está permitiendo que los organismos alcancen a reproducirse y aporten con nuevos individuos a la población, a este fenómeno se le ha denominado sobrepesca de crecimiento (Naranjo, 2011; Murillo et al., 2013).

Crecimiento

El análisis de crecimiento mostró que los machos alcanzaron una longitud cefalotorácica asintótica superior a las hembras. Las LC_{∞} obtenidas en este estudio se encontraron por debajo de las longitudes asintóticas estimadas por Castillo et al. (2013) y Naranjo (2011) para *P. gracilis*. De acuerdo con la naturaleza de los datos y de los modelos aplicados para determinar la LC_{∞} , la talla máxima observada es un factor determinante. Por ende, el hecho de encontrar organismos de tallas máximas inferiores a las encontradas por Castillo et al. (2013) y Naranjo (2011) determinaron la estimación de LC_{∞} inferiores.

De esta forma se demostró una limitante de los métodos utilizados para estimar longitudes asintóticas (longitud máxima que alcanza una especie), ya que si se toma como referencia la longitud máxima reportada para la especie que fue de 165 mm de LC (Fischer et al., 1995) hubo una importante diferencia. Sin embargo, varios factores pueden determinar o explicar las longitudes asintóticas obtenidas en este estudio: 1) Zonas de pesca poco profundas donde el mayor porcentaje de la población fueron juveniles (Lyon, 1981). 2) La actual legislación que ha

dirigido la pesquería hacia este sector de la población de mayores tallas. 3) La intensa presión de pesca sobre este sector de la población (Naranjo, 2011). Entonces no se puede concluir que este recurso no logró alcanzar longitudes superiores en la zona de estudio, sino más bien, que hubo diversos factores por los cuales probablemente no se ha logrado obtener organismos de tallas mayores a las muestreadas.

Respecto a los coeficientes de crecimiento los machos presentaron un crecimiento más acelerado que las hembras. De acuerdo con Briones y Lozano (2003) este crecimiento mayor en machos respondió a que las hembras intercalaron eventos de muda con eventos de crecimiento o que los machos necesitaron menos energía en la producción de gametos que las hembras en la producción de huevos (Herrkind y Lipcus, 1989). Sin embargo, estas afirmaciones solo explicaron las diferencias entre los coeficientes de crecimiento una vez que las hembras empezaron a reproducirse. Pitcher (1993) estableció que para que la reproducción fuera efectiva entre langostas espinosas, el macho debe tener una talla superior a la de las hembras, siendo esta característica biológica lo que permitió que los organismos de una misma cohorte pudieran reproducirse, es decir, que a una misma edad los machos deben tener tallas superiores que las hembras para que la reproducción pueda ser efectiva.

Normalmente los coeficientes de crecimiento calculados para *P. gracilis* se han considerado como elevados en comparación con otras publicaciones (Naranjo, 2001; Castillo et al., 2013). Briones y Lozano (2003) encontraron diferencias significativas entre el crecimiento de *P. gracilis* y *P. inflatus*, siendo esta primera quien exhibió un incremento de 0,91 mm de LC por semana; 0,42 mm más que el incremento de talla que presentó por semana *P. inflatus*, lo que permitió deducir que *P. gracilis* fue una especie que tuvo un crecimiento más rápido que otras especies del mismo género y que estos índices no fueron resultado de adaptaciones biológicas de la especie frente a la intensa explotación, sino más bien, características propias de la especie.

Otro estudio realizado en *P. gracilis* en La Unión, El Salvador determinó un coeficiente de crecimiento aún mayor (1,76) (Salazar, 2012). Este desproporcionado K se puede explicar fácilmente observando la población de langostas que se estudió, la cual estuvo compuesta por juveniles con tallas, que, en su mayor porcentaje, oscilaron entre los 43-46 mm de LC. Los hallazgos de Ehrhardt (2008) en su estudio realizado en *P. argus*, demostraron que el crecimiento en etapas juveniles fue más acelerado que en organismos superiores a los 70 mm LC.

Los resultados obtenidos mostraron coeficientes de crecimiento ($K= 0,28$ para machos y $K= 0,21$ para hembras) que se asemejaron a los reportados para otras especies de langostas del género *Panulirus*, así lo demostró Hearn y Murillo (2008) en *P. penicillatus*, Barnutty (2000), de León et al. (2008) y Sosa y Ramírez (2010) en *P. argus*.



Modelación de crecimiento

Dada las características biológicas de los crustáceos la modelación de su crecimiento ha sido difícil de estimar por dos causas principales: (1) todas las partes duras que podrían ser utilizadas para estimar la edad se pierden en cada muda, y (2) el crecimiento es discontinuo, es decir, se producen de una manera “paso a paso” (Yi-Jay et al., 2012). Por ende, se ha determinado que la forma más idónea para superar estos problemas ha sido estudiar el crecimiento de los crustáceos mediante el marcaje y la recaptura (Campbell y Phillips, 1972); sin embargo, por la dificultad logística y económica que representó este tipo de estudios, algunos expertos como Gulland y Rosenberg (1992) desarrollaron métodos basados en el análisis de frecuencias de tallas, los cuales no necesitan una gran cantidad de recursos económicos debido a la facilidad que brinda para el muestreo y recolección de datos, pero que de acuerdo con Cruz (2000) y Fonteles-Filho (2000), para que estos métodos sean efectivos, se considera necesario el registro de información de mínimo 200 a 250 organismos.

Actualmente para modelar el crecimiento de los crustáceos se han desarrollado diversos métodos, que van desde la estimación simple del índice o tasa de crecimiento durante un tiempo o periodo definido, hasta funciones matemáticas y modelos probabilísticos que tratan de determinar cómo cambian en tamaño los organismos durante su tiempo de vida (Yi-Jay et al., 2012). Estos métodos para modelar el crecimiento de los crustáceos difirieron uno de otros por su complejidad matemática y requerimiento de datos, pero sobre todo por la realidad biológica que representaron sus resultados (Yi-Jay et al., 2012).

Yi-Jay et al. (2012) realizaron una revisión de los principales métodos cuantitativos utilizados en el modelamiento del crecimiento de los crustáceos y analizaron la viabilidad de estos métodos para modelar la influencia de los efectos bióticos y abióticos en el crecimiento de los crustáceos, además de la complejidad matemática y estadística (tabla 3). Del estudio en mención se destacaron como los métodos más efectivos respecto al nivel de realidad biológica: (1) los métodos estocásticos (MPM), desarrollados a partir de la técnica de Monte Carlo por Chen y Kennelly (1999), (2) métodos dependientes de la temperatura, por su influencia en el crecimiento de los crustáceos (Hartnoll, 2001), y (3) los métodos basados en matrices de transición de tamaño, que describieron el crecimiento de los organismos por cada clase de talla (Punt y Kennedy, 1997). Sin embargo, estos métodos requieren de una gran cantidad de datos que pueden presentarse como alta dificultad para el estudio de crecimiento de crustáceos en países donde no se cuentan con la infraestructura, economía y personal preparado para la evaluación y manejo de este tipo de recursos.

El modelo de simulación de crecimiento de la langosta verde *P. gracilis* (Castillo et al., 2014a) utilizado en el presente estudio, manejó una combinación de funciones, cómo métodos el análisis de frecuencia de talla y un modelo de crecimiento continuo (Von Bertalanffy, 1934) al cual se aplicaron funciones logísticas para modelar el crecimiento escalonado de la langosta *P. gracilis* (Cobo, 2013).

Tabla 3. Diferencias en la complejidad de los métodos en describir el crecimiento de crustáceos.

Método	Nivel de requerimiento de datos	Complejidad matemática	Complejidad estadística	Nivel de realidad biológica
Tasa de crecimiento simple	Bajo	Función simple	No hay estimación estadística	Bajo (media de crecimiento de parte de etapas del ciclo vital)
Modelo de crecimiento continuo (CGM)/ estacional CGM	Medio	Función simple	Estimación lineal y no lineal, rejilla de búsqueda	Media o alta (estacional) para promedios de crecimientos individuales, bajo para individual
GROTAG	Medio	Combinación de funciones	Estimación de máxima verosimilitud	Media para promedios de crecimientos individuales, bajo para individual
Análisis de frecuencias de tallas	Bajo	Combinación de funciones	Método gráfico, la estimación de máxima verosimilitud, estimación no paramétrica	Media para promedios de crecimientos individuales, bajo para individual
Modelo de muda en proceso (MPM)	Medio	Combinación de funciones	Estimaciones lineales y no lineales	Media para promedios de crecimientos individuales, bajo para individual
Estocástico (MPM)	Medio	Combinación de funciones	Estimaciones lineales y no lineales; Las simulaciones estocásticas	Alta para promedios de crecimientos individuales, alta para individual
Dependiente de la temperatura (MPM)	Alto	Combinación de funciones	Estimaciones lineales y no lineales	Alta para promedios de crecimientos individuales, alta para individual
Matriz de transición de tamaño	Medio	Combinación de funciones	Estimación de máxima verosimilitud	Alta para promedios de crecimientos individuales, alta para individual

Esta combinación de funciones representó que este modelo tuvo una complejidad matemática media a alta, pero que se resumió en una aplicación de fácil acceso y uso. Además, la mencionada herramienta necesita un nivel de requerimiento de datos bajo y de fácil obtención, útil para estudios de crecimiento de langostas en regiones donde el desarrollo de este tipo de trabajos es indispensable para lograr el manejo adecuado de este recurso y donde las investigaciones pesqueras son insuficientes.

Conclusiones

El estudio demuestra que las poblaciones de langostas *Panulirus gracilis* se están viendo afectadas por la excesiva presión pesquera, lo cual se ve reflejado en las tallas de captura que se encuentran por debajo de lo legal. Como resultado, los índices de crecimiento se muestran elevados en comparación con otros estudios principalmente por la población que se evaluó (juveniles).

El crecimiento fue mayor en machos que en hembras, evento común en todas las langostas de este género. El modelo de crecimiento aplicado demuestra ser efectivo y útil para el propósito de estudio de este recurso y de gestión pesquera, principalmente en países donde los recursos para la ordenación pesquera son escasos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Bryan Benavides y Antonella Alcívar (estudiantes auxiliares de investigación) que colaboraron en la obtención de la información. Este estudio fue financiado por la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Referencias bibliográficas

- Arzola, J., Flores, L., Ortiz, M. y Gutiérrez, Y. (2007). Captura y aspectos reproductivos de la pesquería de las langostas *Panulirus inflatus* y *P. gracilis* (Crustacea: Decapoda) en el sur de Sinaloa, México. *Ciencia y Mar*, 11(31), 15-22. doi: 10.4067/S0718-195720080001 00013
- Briones, P. y Lozano, E. (2003). Factors affecting growth of the spiny lobsters *Panulirus gracilis* and *Panulirus inflatus* (Decapoda: Palinuridae) in Guerrero, México. *Revista de Biología Tropical*, 51(1), 165-174. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442003000100013&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Brown, R. y Caputi, L. (1985). Factor affecting the growth of undersize western rock lobster. *Fisheries Research*, 2(2), 103-128. <https://spo.nmfs.noaa.gov/sites/default/files/pdf-content/1985/834/brown.pdf>
- Campbell, N.A., y Phillips, B.F. (1972). von Bertalanffy growth curve and its application to capture-recapture data in fisheries biology. *ICES Journal of Marine Science*, 34, 295-299. doi: 10.1093/icesjms/34.2.295
- Castillo, R., Figueroa, J., Mero, D. y Erazo, C. (2013). Langosta verde *Panulirus gracilis*: Avances en estudios biológicos y ecológicos para la construcción de estrategias de conservación y manejo. *Revista Científica Hippocampus: Colección Recursos Marinos*, 2, 4-35. <https://www.academia.edu/27714791/>
- Hippocampus_Revista_Científica_Langosta_verde_Panulirus_gracilis_Un_recurso_que_debemos_investigar_para_preservar_Colección_B3n_Recursos_marinos_N_1_Manta_Ecuador
- Castillo, R., Figueroa, J., Mero, D. y Erazo, C. (2014a). *Modelo de simulación de crecimiento de la langosta verde Panulirus gracilis*. EC
- Castillo, R., Figueroa, J., Mero, D. y Erazo, C. (2014b). *Informe técnico: Estrategias de Conservación y Manejo del Recurso Pesquero Langosta Panulirus gracilis en Manta y Jaramijó*. Manta, Ecuador: Departamento Central de Investigación, Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí.
- Castleberry, C. y Riebensahm, D. (2011). *Value chain analysis of the main artisanal fisheries in the Galera-San Francisco Marine Reserve*. Esmeraldas, Ecuador: NAZCA Institute for Marine Research.
- Chen, Y. y Kennelly, J. (1999). Growth of spanner crabs, *Ranina ranina*, off the east coast of Australia. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 50, 319-325. doi: 10.1071/MF98023
- Cobo, A. (2013). *Modelos de crecimiento de la langosta. Manta, Ecuador: Departamento Central de Investigación, Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, Programa Prometeo*.
- Cruz, R. (2000). *Variabilidad del reclutamiento y pronóstico de la pesquería de langosta (Panulirus argus, Latreille 1804) en Cuba*. (Tesis de doctorado), Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.
- Cun, M. y Campos, J. (1993). *Boletín Científico Técnico: Estudio de las capturas comerciales de Panulirus gracilis (langosta verde) del noreste del golfo de Guayaquil (1970-1979)*. Guayaquil, Ecuador: Instituto Nacional de Pesca.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G. y González, L. (2012). *Infostat (versión 2012)*. Windows. Córdoba, Argentina: Grupo Infostat, Universidad Nacional de Córdoba.
- Ehrhardt, N. (2008). Estimating growth of the Florida spiny lobster, *Panulirus argus*, from molt frequency and size increment data derived from tag and recapture experiments. *Fisheries Research*, 93, 332-337. doi: 10.1016/j.fishres.2008.06.008
- Figueroa, J. y Mero, D. (2013). Talla de captura y reproducción de la langosta verde *Panulirus gracilis* (Decapoda: Palinuridae) en la costa de Manabí, Ecuador. *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1189-1199. doi: 10.15517/rbt.v61i3.11924
- Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K.E. y Niem, V.H. (1995). *Guía FAO para la identificación*



- de especies para fines de pesca. Pacífico centro oriental. Volumen I. Plantas e Invertebrados. Roma, Italia: FAO.
- Fonteles-Filho, A. (2000). State of the lobster fishery in north-east Brazil. In: Phillips B & J Kittaka (Eds). *Spiny lobster: Fisheries and culture*. Oxford, Inglaterra: Fishing News Books.
- Gayanilo, F., Sparre, P. y Pauly, D. (2005). *User's guide Stock assessment tools II (Fisat II)*. Computerized Information Series (Fisheries). Roma, Italia: FAO/ICLARM.
- González, L., Díaz, D., Mallol, S. y Goñi, R. (2009). Double tagging experiments and tag loss in *Palinurus elephas*. *Lobsters Newsletter*, 22(1), 6-8.
- Gulland, J. y Rosenberg, A. (1992). *Documento Técnico de Pesca 323: A review of length-based approaches to assessing fish stocks*. Roma, Italia: FAO.
- Hartnoll, R.G. (2001). Growth in crustacea: twenty years on. *Hydrobiologia*, 449, 111-122. doi: 10.1023/A:1017597104367
- Hearn, A. (2001). *The biology and fishery of the velvet swimming crab (Necora puber) in the Orkney Islands UK*. (Tesis de doctorado). Heriot-Watt University, Edinburgh, Escocia.
- Hearn, A. (2002-2004). *Informe Final: Evaluación de las poblaciones de langosta en la reserva marina de Galápagos*. Galápagos, Ecuador: Charles Darwin.
- Herrkind, W. y Lipcius, R. (1989). Habitat use and population biology of Bahamian spiny lobster. *Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 39, 265-278.
- León de, M., Puga, R. & Piñeiro, R. (2008). *Informe Técnico: Parámetros poblacionales de la langosta común del caribe (P. argus): su relación con la variabilidad ambiental*. La Habana, Cuba: Centro de Investigaciones Pesqueras.
- Loesch, H. y López, E. (1966). *Boletín Científico Técnico: Observaciones sobre la langosta de la costa del Ecuador*. Guayaquil, Ecuador: Instituto Nacional de Pesca.
- Lyon, W. (1981). *The spiny lobster, Panulirus argus, in the middle and upper Florida Keys: population structure, seasonal dynamics, and reproduction*. Florida, Estados Unidos: Florida Department of Natural Resources. Marine Research Laboratory
- Murillo, J., Oviedo, M., Loor, A. y Candell, J. (2013). Estado del recurso langosta verde *Panulirus gracilis*, y percepción de los pescadores sobre las pesquerías de Antoncito, provincia de Santa Elena. Universidad Estatal Península de Santa Elena, Centro de Investigaciones Marinas-CIBMA, 1(29), 1-26. doi.org/10.26423/rctu.v1i2.19
- Ministerio de Comercio Exterior, Industrialización y Pesca. (2001). *Acuerdo Ministerial N°. 182*. Ecuador. Subsecretaría de Recursos Pesqueros.
- Naranjo, H. (2011). Biología pesquera de la langosta *Panulirus gracilis* en playa Lagarto, Guanacaste, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 59(2), 619-633. doi: 10.15517/RBT.V0I0.3128
- NAZCA. (2014). *Pesquerías: Instituto de Investigaciones Marinas*. <https://institutonazca.org/es/>
- Ordinola, E., Alemán, S., Vera, M., Inga, C. y Llanos, J. (2007). *Boletín Técnico: Algunos aspectos biológicos-pesqueros de la langosta verde Panulirus gracilis (DECAPODA: PALINURIDAE) en la región de Tumbes*. Tumbes, Perú. IMARPE.
- Pauly, D. y David, J. (1981). Elefan I, a basic program for the objective extraction of growth parameters from length-frequency data. *Meeresforschung*, 28, 205-211.
- Pauly, D. (1983). *FAO Documento Técnico de Pesca: Algunos métodos simples para la evaluación de recursos pesqueros tropicales*. Roma, Italia: FAO.
- Pérez, R. (2011). Catch composition of the spiny lobster *Panulirus gracilis* (Decapoda: Palinuridae) off the western coast of Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 39(2), 225-235. doi.org/10.3856/vol39-issue2-fulltext-4
- Pitcher, R. (1993). Spiny lobster. pp. 539-608. En: Wright & Hill A (Eds.). *Nearshore marine resources of the South Pacific*. Suva, Fiji: Institute of Pacific Studies. Forum Fisheries Agency and Halifax. International Centre for Ocean Development.
- Punt, A. y Kennedy, B. (1997). Population modelling of Tasmanian rock lobster, *Jasus edwardsii*, resources. *Marine and Freshwater Research*, 48, 967-980. doi.org/10.1071/mf97070
- Ramírez, E., Ríos V., Lozano, E., Aguilar-Cardozo, C., Escobedo, G.F., Figueroa-Paz, F., Sosa-Mendicuti, V. & Martínez-Aguilar, J.D. (2010). Estimación de crecimiento, movimientos y prevalencia de pavl en juveniles de langosta *Panulirus argus* en la Reserva de la Biósfera Banco Chinchorro (Quintana Roo, México) a partir de datos de marcado-recaptura. *Ciencia Pesquera*, 1(1), 51-66.

- Salazar, L. (2007). *Informe Técnico: Evaluación preliminar de la langosta verde (Panulirus gracilis)*. La Unión, El Salvador: Proyecto GCP/RLA/150/SWE FIINPESCA.
- Salazar, L. (2012). *Informe Técnico: Evaluación de aspectos biológico-pesqueros de las poblaciones de Langosta (Panulirus gracilis), en la zona costero marina de La Unión, El Salvador*. La Unión, El Salvador: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Pesca y Acuicultura (CENDEPESCA).
- Sosa, E. y Ramírez, A. (2010). *Evaluación del recurso langosta Panulirus argus en la plataforma de Honduras y Nicaragua, a partir de datos del programa de observadores colectados en dos temporadas 2007-2008; 2009-2010*. Quintana Roo, México: El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal.
- Vega, A, Robles, Y. y Gil, D. (2013). Biología y pesquería de *Panulirus gracilis* (Streets, 1871) (Decapoda: Palinuridae) en el Pacífico Occidental de Panamá. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras*, 5, 9-24. doi.org/10.15359/revmar.5.1
- Velázquez, J., Villalejo, M. y Tripp, A. (2010). Fecundidad y proporción de sexos de *Panulirus inflatus* en la costa occidental del Golfo de California, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 45(1), 71-76. doi:10.4067/S0718-19572010000100006
- Villón, C, Cedeño, I., Correo, J. y Peralta, M. (2000). *Informe Técnico. Situación actual del recurso langosta (Panulirus gracilis) en la costa continental ecuatoriana: opciones de manejo para la pesquería*. Guayaquil, Ecuador: Instituto Nacional de Pesca, Guayaquil.
- Wlstanley, R. (1976). *Marking and tagging of the Southern rock lobster Jasus novaehollandiae Holthius off Tasmania*. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 10(2), 355-362.
- Yi-Jay C., Chi-Lu, S. y Yong, C. (2012). Modelling the growth of crustacean species. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 22, 157-187. doi:10.1007/s11160-011-9228-4
- Zetina, C. y Ríos, V. (2000). Modelos de crecimiento de langosta espinosa (*Panulirus argus*) y un método para calcular la edad. *Ciencia Pesquera*, 14, 57-61.

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Ricardo Castillo	Diseño de la investigación; revisión bibliográfica, análisis e interpretación de los datos, preparación y edición del manuscrito.
David Mero-del Valle	Participó en la preparación y edición del manuscrito, corrección de estilo.
Juan Figueroa	Interpretación de los datos y revisión del contenido del manuscrito.
Dayanara Macías	Análisis de datos y corrección de estilo.

