

Research Article

Crecimiento, mortalidad y evaluación de la población de cangrejo dorado (*Chaceon chilensis*) explotado en el archipiélago de Juan Fernández, Chile

Cristian Canales¹ & Patricio M. Arana²

¹Departamento de Evaluación de Recursos, División de Investigación Pesquera
Instituto de Fomento Pesquero, Blanco 839, Valparaíso, Chile

²Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Casilla 1020, Valparaíso, Chile

RESUMEN. Se analiza la información mensual de composición de tamaño recopilada en el monitoreo de la pesca artesanal sobre cangrejo dorado (*Chaceon chilensis*) realizado entre julio de 2005 y mayo de 2006, para evaluar los parámetros de crecimiento, mortalidad natural y puntos biológicos de referencia de los machos sobre los cuales se basa esta pesquería. Se estableció una longevidad promedio de 20 años y una mortalidad natural en torno a $M = 0,27 \text{ año}^{-1}$. La talla crítica se determinó a los 110 mm de longitud cefalotorácica (Lc), que es levemente inferior a la talla de primera captura de 114 mm de Lc. De acuerdo al análisis efectuado, se explotan individuos entre 4 y 10 años de vida. Mediante análisis de equilibrio se determina que la población se encuentra en 82% de la condición virginal, que se refleja en una talla promedio en las capturas de 128 mm de Lc. Una eventual reducción de la población a un límite del 40% de la condición original, se consigue aumentando en tres veces el nivel actual de desembarques, lo que se traduciría en una talla media en las capturas de 118 mm de Lc. Finalmente, se recomiendan distintos puntos biológicos de referencia para garantizar una explotación sustentable en el tiempo.

Palabras clave: crecimiento, mortalidad, evaluación, cangrejo dorado, *Chaceon chilensis*, archipiélago de Juan Fernández, Chile.

Growth, mortality, and stock assessment of the golden crab (*Chaceon chilensis*) population exploited in the Juan Fernández archipelago, Chile

ABSTRACT. Monthly information on the size composition of golden crab (*Chaceon chilensis*) catches compiled while monitoring the artisanal fishery (July 2005 through May 2006) is analyzed in order to evaluate the growth parameters, natural mortality, and biological reference points in male specimens, the basis of the fishery. Average longevity was found to be 20 years and natural mortality around $M = 0.27$. The critical size was determined to be around 110 mm carapace length (Lc), slightly lower than that of the first catch (114 mm Lc). According to this analysis, individuals between 4 and 10 years of age are exploited. A balance analysis revealed that 82% of the population is virginal, as reflected in an average size-at-catch of about 128 mm Lc. Tripling the current level of landings would lead to an eventual reduction to a limit of 40% of the original population; this would result in an average catch size of 118 mm Lc. Finally, several biological reference points are recommended for guaranteeing sustainable exploitation over time.

Keywords: growth, mortality, stock assessment, golden crab, *Chaceon chilensis*, Juan Fernandez Archipelago, Chile.

INTRODUCCIÓN

La existencia del cangrejo dorado de Juan Fernández (*Chaceon chilensis* Chirino-Gálvez & Manning, 1989) se determinó como resultado de la campaña de pesca exploratoria realizada en torno a las islas Robinson Crusoe y Santa Clara durante 1996 y 1997. La abundancia detectada como el gran tamaño de los ejemplares capturados motivó que fuera catalogado como recurso potencial, transformándose en una opción para los pescadores artesanales de la isla, quienes tradicionalmente han dependido exclusivamente de la extracción de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) (Arana, 2000). Se debe destacar que la distribución batimétrica del recurso a profundidades mayores a 200 m planteó nuevos requerimientos en términos del equipamiento de las embarcaciones, haciendo necesario contar con equipos viradores mecánicos o hidráulicos (Arana & Vega, 2000; Martínez & Alvarez, 2000).

La abundancia de cangrejo dorado favoreció el desarrollo de una pesca experimental para establecer el aparejo de pesca más adecuado para su extracción y definir su distribución batimétrica, con énfasis en precisar si existían diferencias en los rendimientos por trampas respecto a la profundidad (Arana & Vega, 2000). Los resultados permitieron identificar que la fracción explotable de la población estaba constituida prácticamente por machos (98%), no teniendo mayores antecedentes respecto de la ubicación y atributos poblacionales de las hembras (Arana, 2000). De acuerdo a las estadísticas oficiales de desembarque, el desarrollo de la pesquería de cangrejo dorado de Juan Fernández se inicia a partir del año 2000. Primeramente se registra una captura de 13 ton, que luego se incrementa obteniéndose un total de 40 ton en 2004, para luego descender hasta 2 ton el 2006 debido principalmente a falta de poder comprador. Esta es una pesquería nueva y aún no se encuentra regulada por la autoridad pesquera chilena.

Estudios sobre parámetros biológicos del grupo Geryonidae son escasos a nivel mundial, pero se sabe que en algunas especies existe una fuerte competencia talla-específica en las capturas realizadas con trampa, lo cual determina una mayor proporción de ejemplares grandes (Miller, 1989). Por otro lado, Haefner (1978) postuló que estos animales requerirían de a lo menos 15 mudas para alcanzar la talla máxima. Así también, en estudios de marcaje se ha determinado que estos cangrejos presentan un crecimiento lento y que las capturas están compuestas por individuos viejos, de seis o más años (Lux *et al.*, 1982).

Dada la importancia que reviste la explotación de esta especie para la comunidad pesquera del archipiélago de Juan Fernández y la necesidad de establecer

bases biológicas para un manejo sustentable, en el presente trabajo se determina los parámetros de crecimiento, mortalidad natural, madurez sexual y talla crítica. Con este fin se analiza la información mensual recopilada en la temporada de pesca 2005/2006, con la cual se establece el estado de situación del cangrejo dorado y sus puntos biológicos de referencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Información analizada

Entre julio 2005 y mayo 2006, se realizaron actividades de monitoreo de esta pesquería desarrollada alrededor de las islas Robinson Crusoe y Santa Clara del archipiélago de Juan Fernández (Arana *et al.*, 2006b). El área de estudio se localizó aproximadamente entre 33°35'-33°50'S y 78°40'-79°50'W, y las actividades extractivas cubrieron profundidades entre 200 y 1.000 m (Fig. 1). Se registró información en 155 salidas de pesca, se revisaron 813 trampas y se muestreó más de 13.000 individuos que corresponde al 94% de la captura total (Arana *et al.*, 2006b).

Cabe destacar, que una de las características especiales de esta pesquería es que la población vulnerada por los aparejos de pesca está constituida solo por machos, lo cual determina el análisis realizado sólo involucra a este sexo. Los individuos medidos fueron agrupados en rangos de 2 mm longitud cefalotorácica (Lc), con el objeto de amortiguar la variabilidad de medición y rescatar de mejor forma la distribución de frecuencia de tallas en las capturas.

Parámetros de crecimiento

Los parámetros del modelo de crecimiento de Von Bertalanffy fueron determinados mediante la descomposición modal de las estructuras de tallas, donde cada componente modal se supone constituye un grupo de edad. El procedimiento aplicado consistió en identificar estadísticamente distribuciones normales subyacentes en las "nf" distribuciones de frecuencias de tallas analizadas, según se ilustra en el paquete computacional Elefan I (FAO) y el algoritmo Mix (MacDonald & Pitcher, 1979), el cual fue programado en Matlab V6.5 y resuelto bajo el principio de máxima verosimilitud (Sparre & Venema, 1997). El uso simultáneo de la composición de talla permite identificar las componentes modales con mayor precisión y objetividad, estimándose los parámetros de cada distribución en respuesta a la repetición de cada componente a lo largo de la muestra analizada.

Al realizar el análisis se supone que una determinada estructura de tallas (i) se encuentra compuesta por "na" distribuciones de edades, cada una de ellas

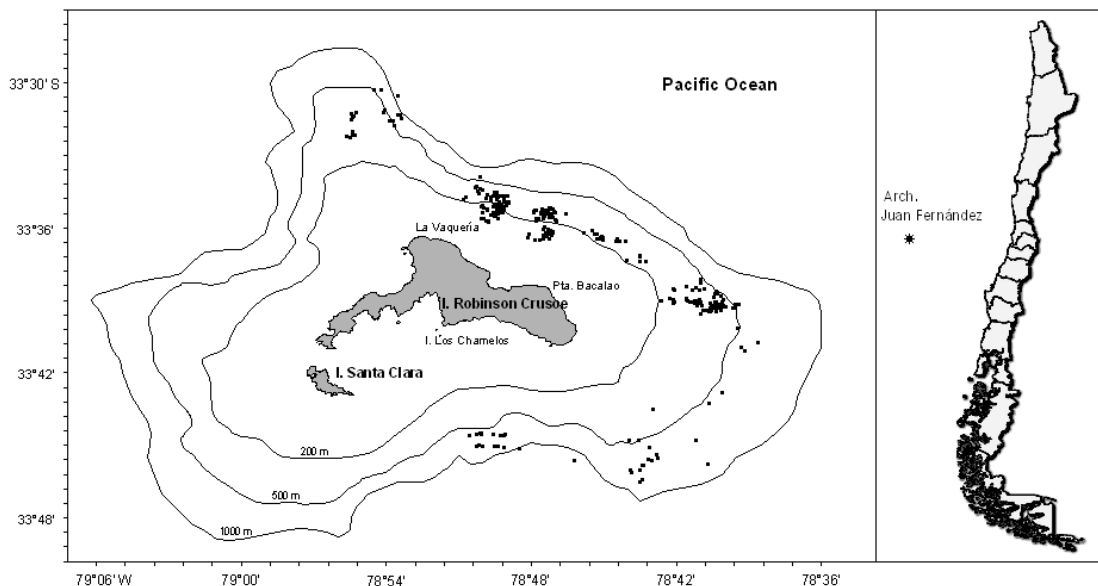


Figura 1. Distribución de las trampas empleadas en faenas de pesca de cangrejo dorado, entre julio de 2005 y mayo de 2006.

Figure 1. Distribution of the traps used in golden crab fishing operations between July 2005 and May 2006.

siguiendo una distribución de densidad normal cuya talla media caracteriza cada grupo etario o estados de muda, según sea el caso. De esta manera, en cada grupo de edad (a) la talla media se establece como:

$$\bar{L}_a = L_{00}(1 - \exp^{-k}) + \exp^{-k} \bar{L}_{a-1} \quad (1)$$

donde L_{∞} y k son parámetros desconocidos por resolver, al igual que la talla modal del primer grupo de edad (L_1). La proporción de individuos a la talla (l) que comprende el a -ésimo grupo de edad queda representado por una distribución normal con media conocida (ec. 2) y desviación estándar σ , supuestamente proporcional a la talla media modal mediante el coeficiente de variación (CV):

$$p_{l,a} \approx N(\bar{L}_a, \sigma_a^2) \quad (2)$$

$$\sigma_a = CV \bar{L}_a \quad (3)$$

Así, la composición de tallas de cada grupo modal queda representada de la forma:

$$\hat{f}_{l,a,i} = \pi_{a,i} p_{l,a} n_i \quad (4)$$

$$\sum_a^{na} \pi_{a,i} = 1 \quad (5)$$

donde $\pi_{a,i}$ es la proporción que compone cada grupo modal-etario y n el tamaño de muestra observado en la

i -ésima composición de tallas. De esta forma, la i -ésima composición de tallas muestral es estimada sumando sobre cada componente modal:

$$\hat{F}_{l,i} = \sum_a^{na} \hat{f}_{l,a} \quad (6)$$

El problema se resume en determinar en las muestras los parámetros de crecimiento, el coeficiente de variación y las proporciones edad-específicas, de forma que minimicen el valor de un estimador de log-verosimilitud penalizado, asumiendo para ello que la composición de talla responde a una distribución multinomial. En esta distribución, se emplea un tamaño muestral efectivo variable proporcional al tamaño de muestra (m_i) observado de la i -ésima composición de tallas normalizado a 200 individuos, según:

$$\log L = \sum_l \sum_i^{nf} 200 \frac{m_i}{\sum_i m_i} F_{l,i} \log(\hat{F}_{l,i}) + \lambda (L_{00} - \Lambda)^2 \quad (7)$$

La penalización $\lambda^*(L_{00} - \Lambda)^2$ corresponde a una restricción de los valores probables de la longitud asintótica modelada mediante pérdida cuadrática en torno a la talla de referencia " Λ ". Una vez resuelto el vector de parámetros, se realizó un retro cálculo siguiendo la ec. 1 para evaluar la talla modal mínima que podría tener un individuo de 1 año de edad y por ende la asignación de edad en las siguientes compo-

nentes modales. Definido esto, esta misma aproximación permitió inferir el valor de t_0 del modelo de Von Bertalanffy. Se supone que cada componente modal es un grupo de edad, y al tener varias composiciones de tallas, cada grupo de edad debiera reproducirse de manera independiente en cuanto a la media y desviación estándar, variando solo la proporción relativa en las frecuencias de tallas.

Mortalidad natural (M) y talla crítica (t_{cr})

Para el cálculo de la tasa instantánea de mortalidad natural se consideró el desempeño de diversos estimadores bio-analógicos, los cuales están basados en los parámetros vitales del recurso, como crecimiento, madurez sexual y longevidad. El detalle de los estimadores es:

Método	Estimador	Definición
Modelo de Taylor (1958)	$M = \frac{bk}{b + kt_0}$ (8)	k y t_0 son parámetros de crecimiento, y b es el parámetro de alometría
Modelo de Beverton & Holt (1956)	$M = \frac{5}{t_{max}}$ (9)	t_{max} es la edad máxima
Alverson & Carney (1975)	$M = \frac{bk}{e^{0,25t_{max}k} - 1}$ (10)	
Modelo de Alagaraja (1984)	$M = \frac{-\ln(0,01)}{t_{max}}$ (11)	
Modelo de curva de captura ($Z=M$)	$\ln(C_a) = \phi - Za$ (12)	C_a es la captura a la edad y ϕ intercepto

Cabe señalar que en la aplicación del último modelo (curva de captura), se supone que la reciente actividad de pesca ha sido de bajo impacto y no ha alterado la estructura de edad de la población, de manera que $Z = M$. Aquí, la composición de edad de la captura se genera de manera directa asignando la edad a la marca de clase de cada intervalo de tallas.

La talla crítica fue estimada evaluando primero la edad crítica y luego convirtiéndola a longitud mediante el modelo de crecimiento. Esta edad, que garantiza la máxima eficiencia de la pesquería respecto del crecimiento somático de los organismos, fue evaluada considerando la variación marginal de la biomasa por recluta, afectada sólo por causas naturales en relación con la edad. La edad crítica t_{crit} , corresponde a la edad donde esta variación es igual a cero y analíticamente conduce a la expresión derivada del modelo de rendimiento por recluta de Beverton y Holt:

$$t_{crit} = t_0 - \frac{1}{k} \log\left(\frac{M}{M + bk}\right) \quad (13)$$

Análisis de equilibrio

El estado de situación del cangrejo dorado se determinó según el modelo de Thompson & Bell, simulando una población estructurada en edad sometida a diferentes niveles de mortalidad por pesca. A partir de esto, se evaluó la reducción relativa de la población explotable y su talla promedio como índice de *status* a ser comparada con la talla promedio observada. Para

esto, a falta de mayor información, se supone que la población se encuentra en promedio equilibrada en relación con su estructura poblacional y los reclutamientos. El modelo poblacional considera la sobrevivencia de un reclutamiento unitario desde la edad (a) de primera captura (t_{pc}) a la edad máxima (t_{max}), de acuerdo a:

$$N_a = \begin{cases} 1 & a = t \\ N_{a-1} \exp^{-Za-1} & a = t_{pc} + 1 : t_{max} \end{cases} \quad (14)$$

y la captura por recluta corresponde al modelo de captura de Baranov:

$$C_{pr a} = \frac{F_a N_a (1 - \exp^{-Za})}{Z_a} \quad (15)$$

donde la mortalidad total Z es la suma de la mortalidad natural (M) y la mortalidad por pesca F_a , la cual se define como:

$$F_a = F_{cr} S_a \quad (16)$$

siendo F_{cr} la mortalidad por pesca de los grupos completamente reclutados y S_a el patrón de explotación que considera los ejemplares de edad cuya talla es mayor o igual a 114 mm de Lc (observado en la pesquería).

$$S_a = \begin{cases} 0 & a < a(l < 114mm) \\ 1 & a \geq a(l \geq 114mm) \end{cases} \quad (17)$$

De igual modo, la biomasa explotable por recluta (Bpr) se obtiene de la expresión:

$$Bpr = \sum_a S_a N_a W_a \quad (18)$$

lo cual permite evaluar en términos relativos la reducción poblacional en el largo plazo para distintos valores de F_{cr} . Aquí, W_a es el peso medio a la edad estimada mediante la relación peso-talla aplicado a la longitud media a la edad:

$$\bar{W}_a = q(\bar{L}_a)^b \quad (19)$$

donde los parámetros de esa relación corresponden a los estimados por Arana *et al.* (2006) con $q = 0,000428$ y $b = 3,069467$. La talla media de los ejemplares completamente reclutados para distintas condiciones de explotación en equilibrio es una respuesta al stress ocasionado por F y se estimó proporcional a la talla media de la captura:

$$\bar{L}_{cr} = \frac{\sum_a \bar{L}_a Cpr_a}{\sum_a Cpr_a} \quad (20)$$

Conocido el valor de la talla promedio de las capturas monitoreadas (> 114 mm de L_c), se puede establecer la comparación con el valor L_{cr} teórico, lo que permite inferir en términos relativos el nivel de reducción de la población virginal.

RESULTADOS

Crecimiento

Las composiciones de tallas de machos generadas en el muestreo cubrieron ejemplares entre 46 y 189,7 mm de longitud cefalotorácica (L_c), con tallas medias que fluctuaron mensualmente entre 114,4 y 130,3 mm de L_c (Tabla 1). En una primera inspección mostraron una persistente polimodalidad que se supone podrían componer grupos de muda o de edad (Fig. 2). De igual forma, cabe destacar que en los cinco primeros meses del monitoreo, se registraron de manera significativa los ejemplares más grandes, (140-160 mm L_c), situación que cambió radicalmente en los siguientes meses (enero a mayo de 2006), cuando el grupo de los individuos más grandes se redujo al rango 120-140 mm de L_c (Fig. 2).

Los datos registrados permitieron distinguir los primeros 3 ó 4 grupos modales, pero luego y sobre la base del supuesto de proporcionalidad entre la varianza y la talla media por grupo de edad, se generó una superposición de componentes modales lo cual dificultó la identificación visual de estos grupos. El modelo aplicado supone que en la información disponible

existe un patrón subyacente en el crecimiento, y cuyas componentes modales podrán variar de acuerdo con factores no necesariamente atribuibles a una dinámica de cohorte, como por ejemplo, zona de pesca, mes o profundidad de captura.

En este estudio, se considera que todas las composiciones de tallas recopiladas aportan información, pero su contribución o importancia relativa al ajuste es ponderada considerando sus respectivos tamaños de muestra. Uno de los parámetros de crecimiento relevantes es la longitud asintótica (L_{∞}), que corresponde al valor promedio de los ejemplares más grandes de una población inexplorada y por ende no debería parecer extraño que el ejemplar más grande (189,7 mm de L_c en abril del 2006) supere este valor promedio. La talla promedio de los ejemplares más grandes alcanzó los 170 mm de L_c (julio del 2005), valor que sirvió de base para establecer una penalización de la longitud asintótica según se indica en la ec. 7.

Siguiendo el procedimiento descrito, el ajuste del modelo de crecimiento se realizó considerando que la información disponible de este recurso en su fase explotada no permite identificar más de ocho componentes modales (o grupos de edades). Algunos ensayos previos consideraron supuestos de hasta 12 grupos de edad presentes en las capturas, pero la relación de desviación estándar vs la talla modal derivó, en general, en una importante superposición, donde el considerar más de ocho grupos etarios es irrelevante para mejorar el ajuste del modelo.

El ajuste y convergencia del modelo se logró luego de 9.300 iteraciones. El resultado es un modelo que reproduce con el mínimo error la forma y variabilidad de cada una de las composiciones de tallas consideradas. El diagrama cuantil-cuantil (qq-plot) indica que los datos observados y predichos provienen de la misma distribución dado que se aproximan, salvo algunas excepciones, significativamente a la linealidad, lo cual se verifica con la normalidad de los residuales (Fig. 3). La composición de talla de julio, agosto y septiembre de 2005 mostró una fuerte participación de individuos mayores a 140 mm de L_c , talla que precisamente corresponde al grupo modal con los ejemplares más grandes observados en el monitoreo de esta pesquería (Fig. 4).

Los parámetros del modelo fueron 92, de los cuales 88 representan la proporción de cada grupo de edad en las muestras mensuales de capturas (11 meses por 8 grupos) y los cuatro restantes corresponden a L_{∞} , k , L_1 y CV. Así, los parámetros de crecimiento estimados indican que este recurso presentaría un incremento corporal anual de moderado a lento, de $k = 0,142$ año⁻¹ valor compatible con un recurso de mediana longevi-

Tabla 1. Principales estadígrafos de la longitud cefalotorácica en la captura total del cangrejo dorado, temporada 2005-2006 (Fuente: Arana *et al.*, 2006b).**Table 1.** Main statistics of the cephalothoracic length in the total golden crab catch for the 2005-2006 season (Source: Arana *et al.*, 2006b).

		Mes											Total
		Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	
N° ejemplares muestreados	Hembras	5	23	5	7	20	18	23	4	108	36	24	273
	Machos	880	1.175	544	669	1.568	640	666	725	2.269	1.818	1.800	12.754
	Totales	885	1.198	549	676	1.588	658	689	729	2.377	1.854	1.824	13.027
Media (mm)	Hembras	95,2	104,9	106,6	98,0	91,4	92,3	94,3	96,3	90,8	90,2	92,3	95,7
	Machos	124,6	124,3	129,8	118,2	119,4	120,1	117,6	119,2	113,4	113,0	114,0	119,4
	Totales	124,5	123,9	129,6	118,0	119,1	119,3	116,8	119,1	112,5	111,9	113,5	118,9
Mediana (mm)	Hembras	92,0	110,6	107,0	91,5	90,8	93,0	95,2	96,6	91,2	93,2	95,6	93,2
	Machos	130,0	127,3	132,8	121,3	121,7	122,6	120,7	122,2	116,4	119,4	115,1	120,6
	Totales	129,5	126,3	132,6	121,0	121,5	122,2	120,2	122,1	115,2	119,1	114,9	120,2
Desviación estándar (mm)	Hembras	9,8	12,3	5,1	22,3	5,7	3,1	5,6	3,5	6,8	7,3	7,5	8,1
	Machos	20,0	19,1	17,4	17,1	15,1	13,4	15,0	13,9	14,5	14,8	14,2	15,9
	Totales	20,1	19,2	17,5	17,2	15,4	14,0	15,3	13,9	15,0	15,3	14,4	16,1
Mínimo (mm)	Hembras	86,2	80,1	97,2	80,0	76,1	85,4	84,1	91,0	73,2	68,7	71,6	68,7
	Machos	46,0	74,3	79,0	76,6	69,8	63,1	77,8	80,4	72,4	74,4	75,1	46,0
	Totales	46,0	74,3	79,0	76,6	69,8	63,1	77,8	80,4	72,4	68,7	71,6	46,0
Máximo (mm)	Hembras	114,0	117,2	111,2	150,0	101,1	98,0	103,6	100,9	112,9	107,1	109,4	150,0
	Machos	177,4	165,0	162,1	165,6	148,7	153,7	153,7	153,7	147,1	189,7	170,4	189,7
	Totales	177,4	165,0	162,1	165,6	148,7	153,7	153,7	153,7	147,1	189,7	170,4	189,7

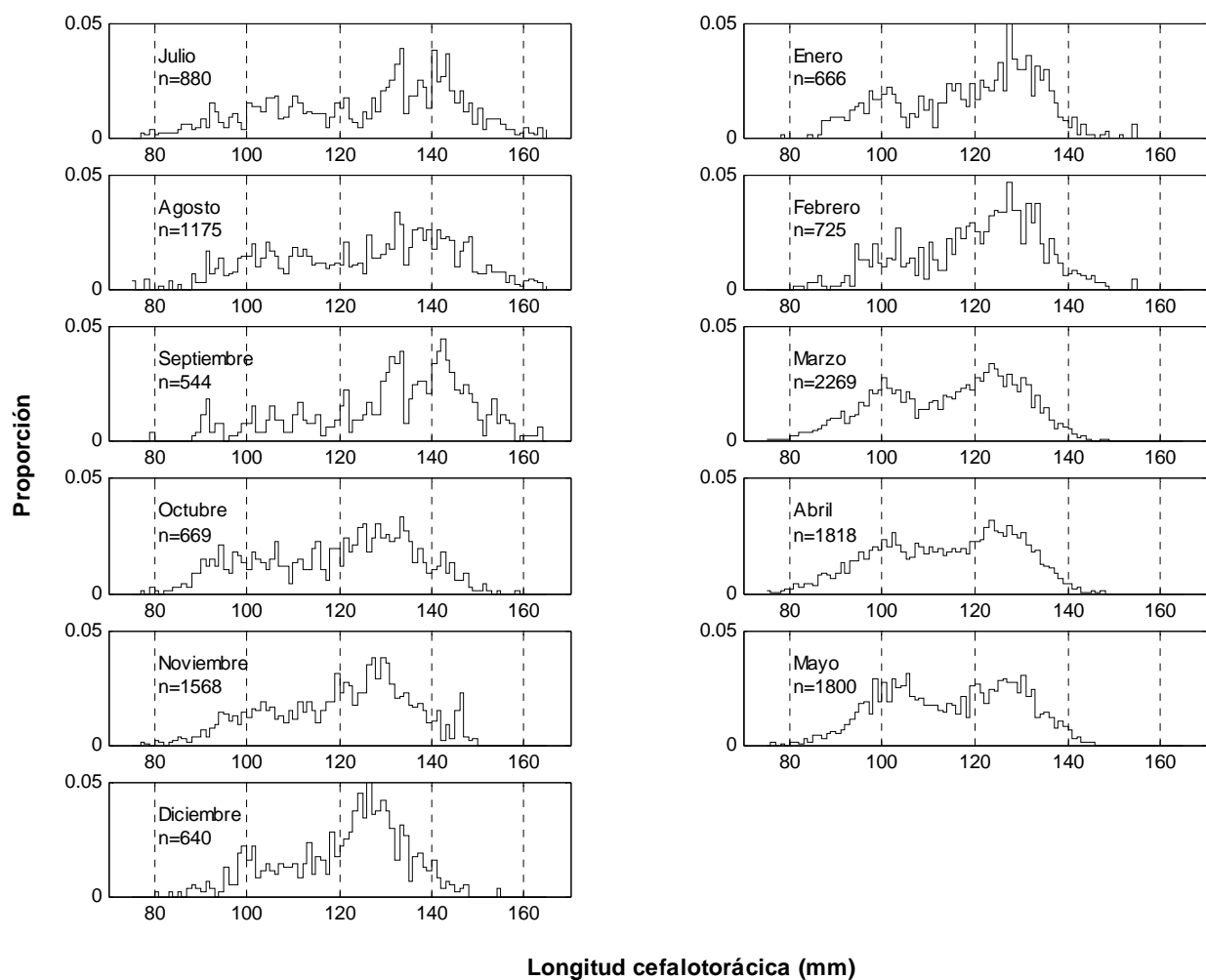


Figura 2. Proporción de talla de los machos de cangrejo dorado entre julio de 2005 y mayo de 2006.

Figure 2. Size proportions of male golden crabs between July 2005 and May 2006.

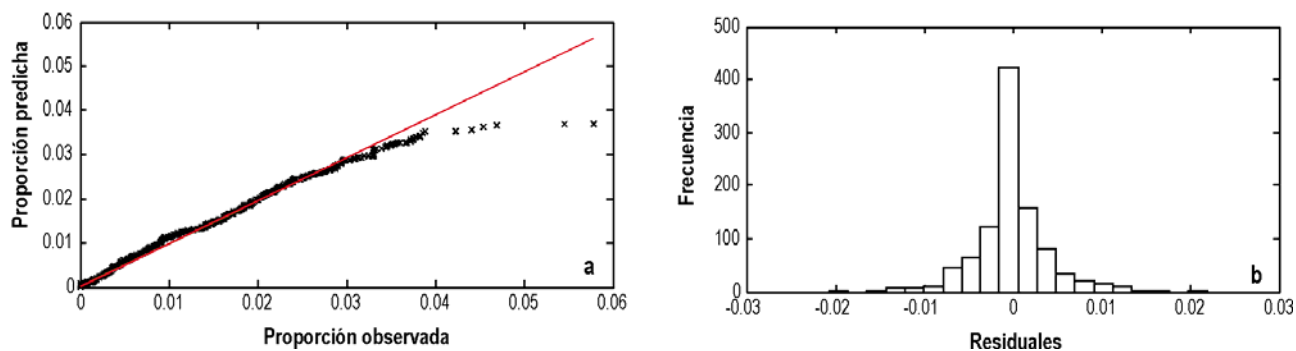


Figura 3. Diagrama qq-plot de a) la proporción de captura a la talla, y b) histograma de los residuales del modelo de crecimiento ajustado a la información de las capturas de machos de cangrejo dorado.

Figure 3. QQ-plot diagram of the a) size-at-catch proportions and b) histogram of the residuals from the growth model fit to the catch data for male golden crabs.

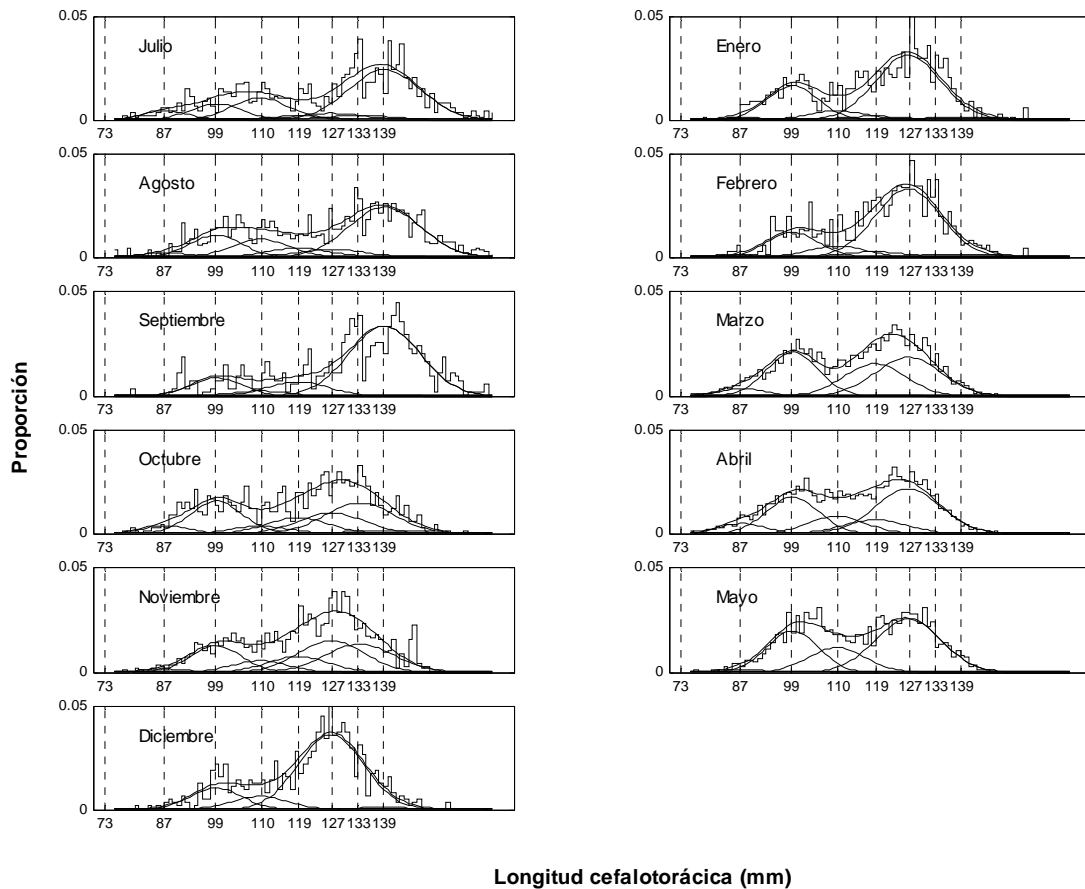


Figura 4. Ajuste del modelo de crecimiento a las composiciones modales identificadas en las proporciones de tallas de las capturas de machos de cangrejo dorado. Las líneas verticales indican la longitud modal por grupo de edad.

Figure 4. Fitting of the growth model to the modal compositions identified in the size-at-catch proportions of male golden crabs. The vertical lines indicate the modal length per age group.

dad (20 años), y que la talla asintótica alcanzaría un valor $L_{\infty} = 178,0$ mm de L_c (Tabla 2). Este valor es significativamente mayor al promedio de los ejemplares mayores usado como penalización, lo cual desde una perspectiva bayesiana, significa que los datos empleados contienen información efectiva relacionada con el crecimiento del cangrejo dorado.

Otro parámetro de interés corresponde a L_1 , que es la talla media del primer grupo de edad estimado en 73,4 mm de L_c y que en la práctica no es observado en la pesquería, sino el que le precede y estimado en 87,3 mm de L_c . Esto hace suponer que en la práctica, los grupos de edad que cubren el rango de tamaño en las capturas no son más de siete. El hecho que se estimen parámetros de composiciones modales (edades) que no están representadas en las composiciones de tallas de las capturas, indica que la edad de reclutamiento a la pesquería es mayor a 1 año de edad, o mejor dicho, que la pesquería se sustenta en individuos adultos.

Tabla 2. Parámetros de crecimiento del cangrejo dorado. Entre paréntesis se entrega el error estándar de las estimaciones.

Table 2. Growth parameters of golden crabs. The standard error of the estimate is given in parentheses.

L_{∞} (mm)	k (año ⁻¹)	L_1 (mm)	CV	t_0 (años)
178,04	0,143	73,440	0,056	0,25
(7,756)	(0,019)	(1,950)	(0,002)	

El modelo no considera de manera explícita la dinámica de sobrevivencia entre cohortes y meses, sino supone que la importancia relativa de cada grupo de edad en las composiciones modales de tallas es independiente y está sujeta a error de observación (*e.g.*, muestreo) y/o proceso (*e.g.*, migración edad-específica).

Para la asignación de los grupos de edad, en primer lugar se calcularon las tallas modales anteriores a L_1 mediante la ec. 1, pero en forma retrospectiva. La mínima talla no-negativa fue estimada en 17,5 mm de L_c (Tabla 3) y asignada a individuos del grupo de edad 0. Las restantes edades fueron asignadas de manera cronológica hasta un máximo de 20 años, edad a la cual la talla media alcanza el 95% de su longitud asintótica (longevidad media). De igual forma, asignada la edad y conocida la talla media, el valor de t_0 fue 0,253 años. De acuerdo con estos resultados, la pesquería del cangrejo dorado estaría compuesta principalmente por individuos entre 4 y 10 años de vida (Tabla 3, Fig. 5). Las ecuaciones de crecimiento de von Bertalanffy en longitud y en peso en los machos de *C. chilensis* quedan definidas como:

$$\bar{L}_a(\text{mm}) = 178,04(1 - e^{-0,14(a-0,25)})$$

$$\bar{W}_a(\text{g}) = 3383(1 - e^{-0,14(a-0,25)})^{3,06}$$

Mortalidad natural (M) y talla crítica (L_{crit})

La mortalidad natural fue inferida a partir de estimadores bioanalógicos y se supuso que la manipulación y devolución de ejemplares al mar bajo la talla de referencia para ser considerados como ejemplares comerciales no son causa de mortalidad adicional. El resultado de estos indican que tres de los cinco métodos propuestos satisfacen la restricción de plausibilidad dado por la relación $1,5 < M/k < 2,5$ (Beverton & Holt, 1959). Estos métodos correspondieron a los propuestos por Beverton & Holt (1956), Alagaraja (1984) y Alverson & Carney (1975), los cuales entregaron valores de mortalidad natural entre 0,21 y 0,36 año⁻¹, con un promedio de $M = 0,27$ año⁻¹ (Tabla 4), que equivale a una sobrevivencia natural anual del 76%.

En este mismo análisis, la pendiente de la curva de captura acumulada en la temporada entregó estimados muy elevados para ser considerados como "proxy" de mortalidad natural, lo cual se debería probablemente a la influencia que ha ejercido la actividad extractiva sobre la estructura de la población o procesos de desreclutamientos de los más grandes por migración ontogenética. La competencia por acceso a las trampas favorece a los individuos más grandes de la población (Miller & Addison, 1995), pero en ningún caso afecta los estimados de mortalidad que se basan precisamente en la longevidad, madurez y/o abundancia relativa a la talla en los individuos más longevos.

Por su parte, la estimación de la talla crítica fue derivada siguiendo el perfil de los cambios en biomasa individual en relación a la talla (Fig. 6). Los resultados indican que la talla crítica es alcanzada a los 110 mm de L_c , equivalente a seis años de vida, la cual es muy

Tabla 3. Longitud cefalotorácica media y edad teóricas en machos de cangrejo dorado.

Table 3. Average theoretical cephalothoracic length and age for male golden crabs.

Edad (años)	L_c (mm)	L/L_∞ (%)	
0	17,45	10	Retro-cálculo
1	38,84	22	
2	57,37	32	
3	73,44	41	Estimadas
4	87,37	49	
5	99,44	56	
6	109,91	62	
7	118,98	67	
8	126,84	71	
9	133,66	75	
10	139,57	78	
11	144,69	81	Proyectadas
12	149,13	84	
13	152,98	86	
14	156,32	88	
15	159,21	89	
16	161,72	91	
17	163,89	92	
18	165,78	93	
19	167,41	94	
20	168,82	95	

cercana a la edad de primera captura obtenida en la pesquería, que correspondería a individuos entre seis y siete años (114 mm de L_c).

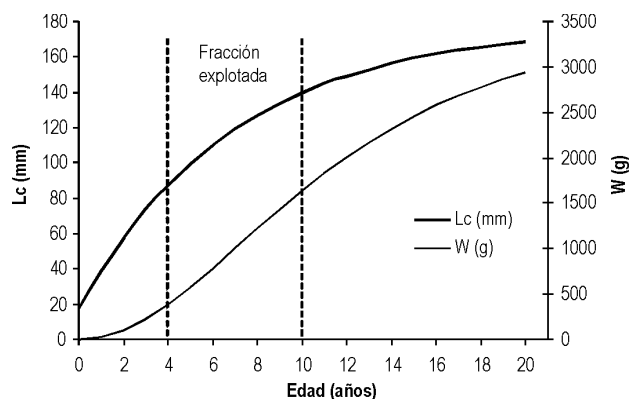


Figura 5. Modelo de crecimiento en machos de cangrejo dorado, en el que se indica el rango de edad presente en la pesquería.

Figure 5. Growth model for male golden crabs, indicating the age range present in the fishery.

Tabla 4. Estimación de la mortalidad natural en machos de cangrejo dorado mediante el empleo de diferentes métodos bioanalógicos.

Table 4. Natural mortality in male golden crabs, estimated by different bio-analogical methods.

	M	M/k
Curva captura (Z)	0,48	3,36
Taylor	0,14	0,99
Beverton & Holt*	0,23	1,59
Alverson & Carney(*)	0,36	2,50
Alagaraja*	0,21	1,46
M promedio	0,27	

(*) seleccionadas

Evaluación de la población

Conocido los parámetros de crecimiento y mortalidad, el análisis en condiciones de equilibrio permitió conocer las relaciones teóricas entre la longitud cefalotorácica promedio de los ejemplares completamente reclutados a la pesquería (> 114 mm de L_c) y los niveles de reducción de la biomasa virginal. Cabe señalar que los ejemplares de tallas inferiores a 114 mm de L_c son devueltos al mar y por ende considera que la selección de la fracción bajo esa longitud es nula.

Los resultados del análisis de equilibrio generaron una curva que relaciona la talla media de los individuos mayores a 114 mm de L_c (\bar{L}_{cr}) con la reducción teórica de la biomasa virginal B_0 . Se estima que la \bar{L}_{cr} en condiciones virginales corresponde a 129 mm de L_c , que equivale al valor de la abscisa cuando la razón B/B_0 es igual a 100% (Fig. 7). Por su parte, los muestreos de tallas de las capturas indican que la

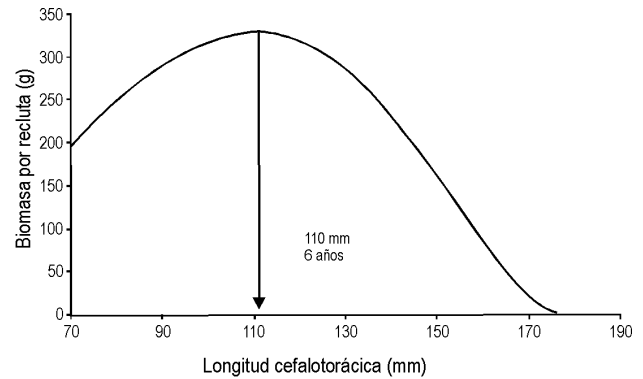


Figura 6. Curva de biomasa individual por recluta respecto a la talla en machos de cangrejo dorado.

Figure 6. Individual biomass curve per recruit with respect to the size of male golden crabs.

\bar{L}_{cr} es de 128 mm de L_c , lo que ubica a la población explotable en un 82% de la población virginal (Fig. 8, Tabla 5). Esto corresponde a un valor de mortalidad por pesca en torno a $F = 0,05$, que es inferior a Puntos Biológicos de Referencia como es $F_{40\%} = 0,34$ (Mace, 1994) o $F = 0,5 M$ sugerido por Gulland (1971) para poblaciones vírgenes. La reducción relativa de la biomasa desovante virginal ha sido empleada para definir puntos biológicos de referencia en muchas pesquerías. Varios estudios (Clark, 1991; Francis, 1993; Thompson, 1993; Mace, 1994) sugieren que se pueden producir rendimientos promedios equivalentes al Máximo Rendimiento Sostenido cuando la población se encuentra en el rango 0,3-0,5 de la condición virginal, y que muchas pesquerías no pueden generar producción sostenida si la reducción se ubica bajo 0,2 de B_0 .

En este sentido, una reducción de la población virginal a un 40% de B_0 significa registrar en la pesque-

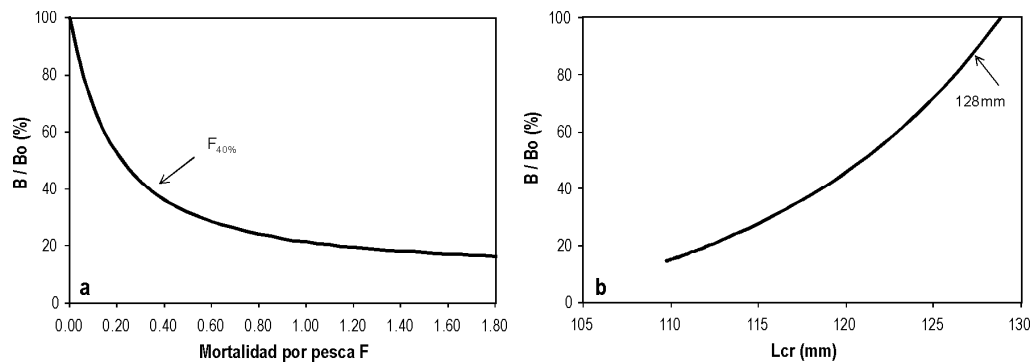


Figura 7. a) Relación teórica entre la biomasa de largo plazo y la mortalidad por pesca, y b) relación teórica entre la talla media de completo reclutamiento (L_{cr}) y la reducción de biomasa virginal en machos de cangrejo dorado.

Figure 7. a) Theoretical relationships between long-term biomass and fishing mortality, and b) between the average size of complete recruitment (L_{cr}) and the reduction of virginal biomass in male golden crabs.

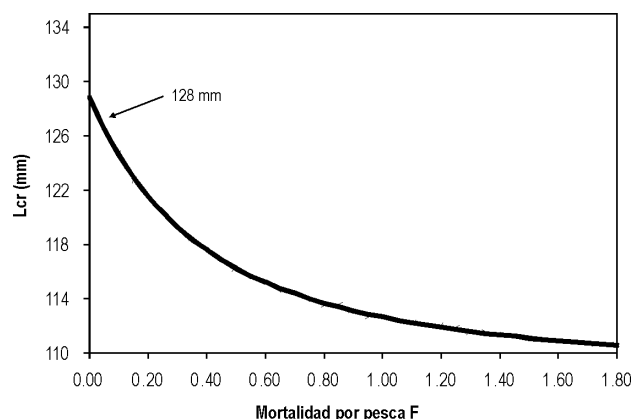


Figura 8. Relación teórica entre la mortalidad por pesca y la talla media de completo reclutamiento (L_{cr}) en machos de cangrejo dorado.

Figure 8. Theoretical relationship between fishing mortality and the average size of complete recruitment (L_{cr}) in male golden crabs.

ría una \bar{L}_{cr} de 118 mm de Lc y en el caso de $F = 0,5$ M una longitud \bar{L}_{cr} de 123 mm de Lc (Tabla 5). Como estos valores son inferiores a la talla \bar{L}_{cr} actual, se deduce que este recurso podría soportar un incremento moderado de mortalidad por pesca sin mayor detrimento de la población, teniéndose como referentes que no se exceda el valor de referencia dado por $F_{40\%}$ o que la talla \bar{L}_{cr} no caiga bajo los 118 mm de Lc. Lo anterior se consigue incrementando en tres veces los desembarques actuales.

Finalmente, el criterio de explotación bioeconómico $F_{0,1}$ (Gulland, 1983), que corresponde al valor de F donde la pendiente del rendimiento por recluta es igual al 10% de la pendiente original (Fig. 9), fue estimado en $F_{0,1} = 0,35$ y es similar al criterio $F_{40\%}$ anteriormente señalado. Esto indica que no solo el mejor beneficio económico se lograría aumentando

Tabla 5. Mortalidad por pesca, rendimiento por recluta, reducción de la biomasa virginal y talla media de completo reclutamiento en machos de cangrejo dorado.

Table 5. Fishing mortality, yield per recruit, virginal biomass reduction, and full recruited mean length in male golden crabs.

	F (año ⁻¹)	Y (g)	B/B ₀	\bar{L}_{cr} (mm)
F_{cr}	0,050	197	84%	128
$F = 0,5 * M$	0,135	390	66%	123
$F_{40\%}$	0,340	569	40%	119
$F_{0,1}$	0,350	574	45%	118

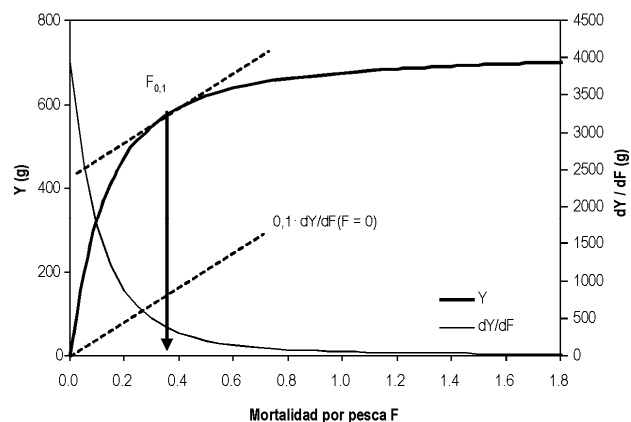


Figura 9. Relación teórica entre la mortalidad por pesca con el rendimiento por recluta (línea gruesa) y su variación marginal (línea delgada) respecto de la mortalidad por pesca en machos de cangrejo dorado. En líneas segmentadas se indica el valor del 10% de la pendiente en el origen.

Figure 9. Theoretical relationship between fishing mortality with the yield per recruit (thick line) and the marginal variation (thin line) with respect to fishing mortality in male golden crabs. The segmented lines indicate the 10% value of the initial slope.

la mortalidad por pesca a este nivel, sino que dicho aumento no comprometería niveles biológicos sostenibles de explotación en este recurso.

DISCUSIÓN

El monitoreo de las capturas del cangrejo dorado, permitió realizar exclusivamente el análisis de los machos, dado que este sexo representa más del 98% las capturas, integrando mayor cantidad de información a la que se contaba previamente. Se determinó que el cangrejo dorado es un recurso de mediana longevidad, cuya máxima expectativa de vida es de alrededor de 20 años y que la pesquería estaría compuesta por individuos de 4 a 10 años de edad. Por otra parte, se estableció que tanto los parámetros de crecimiento como el valor de mortalidad natural resultaron mayores a los estimados por Arana (2000) ($L_{\infty} = 150$ mm; $k = 0,1$ año⁻¹; $M = 0,15$ año⁻¹), diferencia que se estima estrechamente ligada a la mayor fuente de datos ahora disponible. Cabe mencionar que por lo general las estructuras de tallas o edades de ejemplares muy longevos tienden a ser simétricas, unimodales y muy estables en el tiempo, situación que en este caso no ocurrió.

En general, la literatura disponible sobre crecimiento en el grupo Geryonidae es escasa a nivel mun-

dial, aunque se postula que estos animales requerirían de 15 o más mudas para alcanzar la talla máxima (Haefner, 1978). Así, mediante estudios de marcaje realizados en *Chaceon (Geryon) quinquedens* de Nueva Inglaterra se ha determinado que estos cangrejos presentan un crecimiento lento y que la pesquería esta compuesta por individuos viejos, de seis o más años (Lux *et al.*, 1982). Igualmente, Van Heukelem *et al.* (1983) señalan que los ejemplares de esta misma especie ingresan a la pesquería realizada frente a la costa Atlántica de los Estados Unidos cuanto tienen alrededor de seis años de vida. Un resultado semejante encuentra Melville-Smith (1989) en *Chaceon (Geryon) maritae* de Sud Africa/Namibia, quien mediante el desarrollo de un modelo hipotético, establece que esta especie puede ser explotada a partir de los seis años de vida, valores que son similares a los resultados alcanzados en el presente estudio.

Durante los primeros siete años de vida el cangrejo dorado aumenta su tamaño a tasas crecientes, para luego invertir este patrón de crecimiento a tasas decrecientes (Fig. 4). Esto último podría encontrarse relacionado con el proceso de madurez sexual, en el cual parte importante de la energía empleada en el desarrollo corporal es orientada al proceso reproductivo y por ende la reducción en la tasa de crecimiento. En este sentido y de acuerdo con Charnov (1993) y Charnov & Berrigan (1990), una aproximación a la talla de primera madurez sexual se logra cuando el animal alcanza 2/3 de la longitud asintótica, la que en este estudio conlleva a una estimación de 118 mm de Lc. De acuerdo con Guerrero & Arana (2008), la talla de primera madurez sexual (TMS_{50%}) es alcanzada en los machos a los 109 mm de Lc (equivalente a 125 mm de ancho cefalotorácico), que correspondería a individuos entre seis y siete años. Un resultado similar se obtiene cuando se evalúa el cambio de inflexión en el incremento marginal en el peso respecto de la edad. Sin perjuicio de lo anterior, cabe destacar que la competencia talla-específica en las trampas limitaría la presencia de ejemplares pequeños y con ello la talla del primer grupo de edad.

La talla crítica del recurso estimada en 110 mm de Lc correspondería a una edad de seis años, la cual es ligeramente inferior a la talla de primera captura en torno a los 114 mm de Lc y ligeramente superior a la TMS_{50%}, situación que además permite concluir que la explotación respecto al aprovechamiento somático del recurso es cercana a lo óptimo, pudiéndose incluso mejorar el rendimiento si esta talla se disminuye al valor de la talla crítica.

De acuerdo con Beverton & Holt (1959), la mortalidad natural y el coeficiente de crecimiento k se rela-

cionan en una razón que va de 1,5 a 2,5. En el presente estudio, dicha razón fue estimada en $M/k=1,88$, que resulta consistente con el rango antes mencionado. La estimación de la mortalidad natural se relaciona con la longevidad y puede ser errónea si los individuos más longevos de una población virginal no están debidamente representados en los muestreos. En el análisis esto no fue problema, debido a que existe una dominancia de ejemplares de gran talla producto de la probable competencia talla-específica por acceso a las trampas (Miller & Addison, 1995), lo cual provoca además que la proporción de ejemplares de menor tamaño esté sub-representada.

Teniendo como resultado las fluctuaciones que han presentado las distribuciones de frecuencias de tallas mensuales entre julio 2005 y mayo 2006, la reducción de los ejemplares de mayor tamaño respecto a lo observado los primeros meses de pesca podría ser interpretado como un probable proceso de migración talla-específica. Otra posible explicación estaría en la fuerte conducta territorial y dominancia de los ejemplares más grandes sobre el resto de la población (Miller, 1989; Miller & Addison, 1995). De acuerdo con ello, las primeras trampas caladas capturarían los individuos más grandes y longevos, lo que posteriormente debiera generar mayor espacio y menor competencia para los más jóvenes. Esto explicaría la reducción de la talla promedio y posiblemente el aumento de los rendimientos debido a la mayor abundancia de los ejemplares más pequeños. Si bien no se descarta el impacto de la pesca, se estima que si tales variaciones en los tamaños promedio son explicadas por las causas anteriormente mencionadas, se trataría entonces de una población muy pequeña susceptible a la sobrepesca, lo que es incompatible con los buenos rendimientos hasta ahora obtenidos. Sin embargo, dado lo reciente del conocimiento de este recurso, resulta conveniente realizar nuevos estudios que permitan recopilar más antecedentes en relación a su etología y dinámica poblacional, para evaluar y corroborar las hipótesis formuladas.

Recientemente, FAO (2008) denominó al cangrejo del género *Chaceon* como recurso de aguas profundas, caracterizado como especie de maduración tardía, lento crecimiento, alta longevidad, baja mortalidad natural, reclutamientos intermitentes y adultos que no desovan todos los años, calificación que ya había sido dada por Elner *et al.* (1987) una década antes. Por su parte, Chute (2006) indica que se trata de un recurso frágil, que puede ser fácilmente sobreexplotado, y si esto ocurre es de difícil recuperación, lo que genera especial precautoriedad en cuanto a posibles incrementos en los niveles de explotación.

Weinberg & Keith (2003) entregan referencialmente una aproximación talla-estructurada para evaluar la población del *Chaceon quinquedens* en el Atlántico noroeste, lo cual exige un mayor requerimiento de información de la que se dispone. No obstante, en el análisis indirecto de la condición de explotación del cangrejo dorado se logró establecer que la población se ubicaría en torno al 82% de su condición virginal, lo cual parece conservativo y permitiría elevar la presión de pesca si se quisiera reducir la población si se desea alcanzar un objetivo del 40%. Esto significa disminuir la talla promedio de 128 mm de Lc registrado en las capturas de la temporada 2005/06 a una talla de 118 mm de Lc. Al respecto, Serchuk (1977) determinó una talla de primera captura de 114 mm de Lc sobre la base de un estimado de $M = 0,2$, valores que se comparan adecuadamente con los reportados en este trabajo. Para lograr la conservación de la biomasa según se propone, se genera igualmente un nivel de mortalidad similar al óptimo bio-económico dado por el criterio $F_{0,1}$ de Gulland (1983). Sin embargo, en términos de costo, una reducción armónica de la población implicaría elevar significativamente el esfuerzo de pesca actualmente ejercido, y lograr un aumento en el rendimiento equivalente a tres veces el actual.

La situación actual de explotación parece ser adecuada respecto de los puntos biológicos de referencia deducidos en el presente trabajo. Esto se ha debido al establecimiento local de una talla de comercialización aproximada de 114 mm de Lc, que es cercana a la talla en la cual la biomasa por recluta es máxima junto al despliegue de un bajo nivel de esfuerzo. En efecto, son dos los puntos biológicos de referencia que debieran ser considerados para generar una explotación sostenible en el tiempo: una talla de primera captura mayor o igual a la talla crítica estimada en 110 mm de Lc, y mantener una talla promedio de las capturas por sobre los 118 mm de Lc, talla que en el largo plazo corresponde a una reducción de biomasa del 40% respecto de la biomasa virgen. Mientras estos indicadores sean asegurados, la explotación de este cangrejo sería biológicamente adecuada y sostenible en el tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los Sres. Mauricio Ahumada y Pedro Apablaza la supervisión de los muestreos en terreno y a los patrones de los botes que participaron en el monitoreo de la pesquería, Sres. Pedro Chamorro, Mario Llanquín y Danilo Rodríguez.

REFERENCIAS

- Alagaraja, K. 1984. Simple methods for estimation of parameters for assessing exploited fish stocks. *Indian J. Fish.*, 31: 177-208.
- Alverson, D. & M. Carney. 1975. A graphic review of growth and decay of population cohort. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 36: 133-143.
- Arana, P. 2000. Estimación de abundancia y biomasa del cangrejo dorado (*Chaceon chilensis*) en el archipiélago de Juan Fernández, Chile. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 28: 53-68.
- Arana, P., S. Palma, A. Guerrero, M. Ahumada & A. Jofré. 2006. Monitoreo biológico-pesquero de la langosta y el cangrejo dorado en el archipiélago de Juan Fernández. *Inf. Final FIP 2004-49. Estad. Doc.*, Pont. Univ. Católica Valpo., 32: 288 pp.
- Arana, P. & R. Vega. 2000. Pesca experimental de cangrejo dorado (*Chaceon chilensis*) en el archipiélago de Juan Fernández, Chile. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 28: 117-133.
- Beverton, R.J. & S.J. Holt. 1956. A review of methods for estimating mortality rates in fish populations, with special reference to sources of bias in match sampling. *Rapp. P.-V. Réun. Cons. Perm. Int. Explor. Mer*, 140: 67-83.
- Beverton, R.J. & S.J. Holt. 1959. A review of lifespan and mortality rates of fish in nature, and their relation to growth and other physiological characteristics. In: G.E.W. Wolstenholme & M. O'Connor (eds.). *The lifespan of animals*. CIBA Foundation, Colloquia on Ageing, 5: 142-180.
- Charnov, E.L. & D. Berrigan. 1990. Dimensionless numbers and life history evolution: age of maturity versus the adult life span. *Evol. Ecol.*, 4: 273-275.
- Charnov, E.L. 1993. *Life history invariants*. Oxford University Press, London, 167 pp.
- Clark, W.G. 1991. Groundfish exploitation rates based on life history parameters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48: 734-750.
- Chute, A. 2006. Status of fishery resources off the north-eastern US species synopses. Deepsea red crab (*Chaceon quinquedens*). NEFSC - Resource Evaluation and Assessment Division. NEFSC On-line publication. <http://www.nefsc.noaa.gov/sos/spsyn/iv/redcrab>. Revised: 12 Jun 2008.
- Elnor, R.W., S. Koshio & G.V. Hurley. 1987. Mating behavior of the deep-sea red crab, *Geryon quinquedens*, Smith (Decapoda, Brachyura, Geryonidae). *Crustaceana*, 52(2): 194-201.
- Francis, R.I.C.C. 1993. Monte Carlo evaluation of risks for biological reference points used in New Zealand fishery assessments. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 120: 221-230.

- Guerrero, A. & P. Arana. 2009. Size structure and sexual maturity of the golden crab (*Chaceon chilensis*) exploited off Robinson Crusoe Island, Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 37(3): 347-360.
- Gulland, J.A. 1971. The fish resources of the ocean. Fishing News (Books), West Byfleet, 255 pp.
- Gulland, J.A. 1983. Fish stock assessment: a manual of basic method. Wiley Interscience, Chichester, U.K., FAO/Wiley Series on Food and Agriculture, 1: 223 pp.
- Haefner, Jr., P.A. 1978. Seasonal aspects of the biology, distribution and relative abundance of the deep-sea red crab, *Geryon quinquedens* Smith, in the vicinity of the Norfolk Canyon, Western North Atlantic. *Proc. Natl. Shellfish. Assoc.*, 68: 49-62.
- Lux, F.E., A.R. Ganz & W.F. Rathjen. 1982. Marking studies on the red crab *Geryon quinquedens* Smith off southern New England. *J. Shellfish Res.*, 2(1): 71-80.
- MacDonald, P.D.M. & T.J. Pitcher. 1979. Age-groups from size-frequency data: a versatile and efficient method of analyzing distribution mixtures. *J. Fish. Res. Board. Can.*, 36: 987-1001.
- Mace, P.M. 1994. Relationships between common biological reference points used as thresholds and targets of fisheries management strategies. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 51: 110-122.
- Martínez, G. & C. Álvarez. 2000. Factibilidad técnico-económica de la explotación comercial del recurso cangrejo dorado de Juan Fernández (*Chaceon chilensis*). *Invest. Mar.*, Valparaíso, 28: 203-218.
- Miller, R.J. 1989. Catchability of American lobster and cancer crabs by traps. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46: 1652-1657.
- Miller, R.J. & J.T. Addison. 1995. Trapping interactions of crabs and American lobster in laboratory tanks. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 52: 315-324.
- Melville-Smith, R. 1989. A growth for the deep-sea red crab *Geryon maritae* off South West Africa/Namibia (Decapoda, Brachyura). *Crustaceana*, 56(3): 279-292.
- Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2008. Technical consultation on international guidelines for the management of deep sea fisheries in the high seas. TC:DSF/2008/Inf. 3. Rome (Italy), 4-8 February 2008.
- Serchuk, F.M. 1977. Assessment of red crab (*Geryon quinquedens*) populations in the Northwest Atlantic. September 1977. Woods Hole Lab. Ref. Doc., 72-23: 15 pp.
- Sparre, P. & S.C. Venema. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte I. Manual. FAO, Doc. Tec. Pesca, 306.1, Rev. 2: 420 pp.
- Taylor, C.C. 1958. Cod growth and temperature. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 23(3): 366-370.
- Thompson, G.G. 1993. A proposal for a threshold stock size and maximum fishing mortality rate. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 120: 303-320.
- Van Heukelen, W., M.C. Christman, C.E. Epifanio & S.D. Sulkin. 1983. Growth of *Geryon quinquedens* (Brachyura: Geryonidae) juveniles in the laboratory. *US Fish. Bull.*, 81(4): 903-905.
- Weinberg, J.R. & C. Keith. 2003. Population size-structure of harvested deep-sea red crabs (*Chaceon quinquedens*) in the northwest Atlantic Ocean. *Crustaceana*, 76(7): 819-833.

Received: 8 July 2008; Accepted: 2 March 2009