



**UNIVERSIDAD DE CHILE -FACULTAD DE CIENCIAS -ESCUELA DE
PREGRADO**

**INFLUENCIA DE LA PESCA ARTESANAL SOBRE LOS
TAMAÑOS DE LA JAIBA REMADORA *OVALIPES
TRIMACULATUS* EN LAS COSTAS DE LA REGION DEL
MAULE DURANTE EL PERIODO 2002-2014.**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Biología con mención en Medio Ambiente.

Felipe Ignacio Rojas Araos

Director del Seminario de Título Dr. David Veliz

Co director: Dr. Luis M Pardo

Co director: MSc. Andrés Olguín

11 de octubre, 2018

Índice de contenido

Resumen	1
Abstract.....	3
Introducción.....	5
Hipótesis	12
Objetivo general	12
Objetivos Específicos	12
Metodología	13
Sitios de estudio	13
Base de datos.....	14
Análisis de datos	17
Relación alométrica	17
Modelo de crecimiento	19
Estadística descriptiva.....	23
Variables ambientales adquiridas a partir de imágenes satelitales	23
Contrastando los cambios en el tamaño de <i>O. trimaculatus</i> con las variables ambientales seleccionadas y la intensidad pesquera (desembarques).	24
Resultados	25
Discusión	34
Conclusión.....	43
Bibliografía	44
Anexo	55

Índice de tablas

Tabla 1: Número de individuos de la segunda base datos, separado por sexos y total de individuos por año.	16
Tabla 2: Peso total por sexo, además del peso total de la segunda base de datos de <i>Ovalipes trimaculatus</i>	16
Tabla 3: Resumen de la base histórica de capturas de <i>O. trimaculatus</i> . Las capturas por sexo se extrapolaron a partir de la ecuación (1). Encabezado: P _{hh} : peso histórico hembras; P _{hm} : peso histórico machos; P _{ht} : peso histórico total.	17
Tabla 4: Estimación de coeficientes de alometría para los machos y hembras de <i>O. trimaculatus</i> para los años 2002 y 2014. Encabezado: P1: p-value de la prueba de alometría; R ² : coeficiente de determinación, a: coeficiente alométrico, b: coeficiente de crecimiento, T = total de años de estudio.	55
Tabla 5: Estimación interanual de estadísticos descriptivos y de dispersión del ancho cefalotorácico de los machos de <i>O. trimaculatus</i> desde el año 2002 hasta el año 2014. Encabezado: Max(máximo), Min(mínimo), DS (desviación estándar), CV (coeficiente de variación), N (número de individuos).	55
Tabla 6: Estimación interanual de estadísticos descriptivos y de dispersión del ancho cefalotorácico de las hembras de <i>O. trimaculatus</i> desde el año 2002 hasta el año 2014. Encabezado: Max(máximo), Min(mínimo), DS (desviación estándar), CV (coeficiente de variación, N(número de individuos).	56
Tabla 7: Parámetros estimados de los machos de <i>O. trimaculatus</i> desde los años 2002 hasta el 2014, A continuación, el significado del encabezado: Ancho asintótico (AC [∞]); Constante de crecimiento de von Bertalanffy (K); tiempo de inicio de crecimiento (ts); Amplitud estacional C; tiempo de desove (ta); Índice de crecimiento (Ø); Índice de ajuste (Rnmax).	56
Tabla 8: Parámetros estimados de las hembras de <i>O. trimaculatus</i> desde los años 2002 hasta el 2014, A continuación el significado del encabezado: Ancho asintótico (AC [∞]); Constante de crecimiento de von Bertalanffy (K); tiempo de inicio de crecimiento (ts); Amplitud estacional C; tiempo de desove (ta) ; Índice de crecimiento (Ø); Índice de ajuste (Rnmax).	57
Tabla 9: Correlaciones entre los lags del ancho asintótico y desembarques tanto para machos como para hembras de <i>O. trimaculatus</i> . Encabezado: r (estadístico de Pearson), Lag 0 indica que es una correlación en el mismo año (sin desfase). * P <0.05.	57
Tabla 10: Correlaciones entre los lags del ancho asintótico y la temperatura superficial del mar tanto para machos como para hembras de <i>O. trimaculatus</i> . Encabezado: r (estadístico de Pearson), Lag 0 indica que no es una correlación en el mismo año (sin desfase). * P <0.05.	58
Tabla 11: Correlaciones entre los lags del ancho asintótico y la clorofila-a del mar tanto para machos como para hembras de <i>O. trimaculatus</i> . Encabezado: r (estadístico de Pearson), Lag 0 indica que no es una correlación en el mismo año (sin desfase). * P <0.05.	58

Índice de figuras

Figura 1: Jaiba remadora. <i>Ovalipes trimaculatus</i> . El quinto par de patas (dactilopodito) posee una forma ovalado semejante a la de un remo. Tomado de Retamal & Arana (2000).	8
Figura 2: Ciclo de vida de <i>Ovalipes trimaculatus</i> (tomado de Olguín et al., 2017).....	9
Figura 3: Desembarque total nacional de jaiba remadora periodo 2002-2017 (fuente anuario SERNAPESCA 2012 y 2017, elaboración propia).	10
Figura 4: Mapa de sitio de estudio de las costas de la Región del Maule.	13
Figura 5: Análisis de los datos largo-frecuencia de la especie de coral (<i>Plectropomus leopardus</i>) con el fin de estimar cohortes con ELEFAN. a) datos originales ordenados en intervalos de 5 mm, b) los mismos datos, pero re-ploteados en 2 cm, c) datos reestructurados donde se aprecian los puntos disponibles (ASP). Fuente: tomado de Pauly (1987).	21
Figura 6: Análisis ELEFAN con datos de largo-frecuencia del pepino de mar <i>Holothuria arguinensis</i> desde noviembre del 2012 hasta marzo del 2014..	22
Figura 7: Relación entre el ancho del cefalotorax (cm) y el peso total (g) de <i>O. trimaculatus</i> . A) Machos, B) hembras. En ambos gráficos se muestra la nube del total de datos obtenidos entre 2002 y 2014 junto con sus respectivas ecuaciones de ajustes al costado superior izquierdo.	25
Figura 8: Relación entre el ancho del cefalotorax y el peso total para los machos de <i>O. trimaculatus</i> , desde el 2002 hasta el 2014.	26
Figura 9: Relación entre el ancho del cefalotorax y el peso total para las hembras de <i>O. trimaculatus</i> , desde el 2002 hasta el 2014.	27
Figura 10: Comparación entre el ancho asintótico y estadísticos de descriptivos en los machos de <i>O. trimaculatus</i> . El gráfico de la izquierda muestra el ancho asintótico junto con el máximo y mínimo de la muestra de datos; el gráfico de la derecha muestra el ancho asintótico junto con la mediana, moda y promedio.	29
Figura 11: Comparación entre el ancho asintótico y estadísticos de descriptivos en hembras de <i>O. trimaculatus</i> . El gráfico de la izquierda muestra el ancho asintótico junto con el máximo y mínimo de la muestra de datos; el gráfico de la derecha muestra el ancho asintótico junto con la mediana, moda y promedio.	29
Figura 12: Ancho asintótico estimado (cm) del análisis ELEFAN en función del tiempo (años) de <i>O. trimaculatus</i> . La curva roja describe la variación del ancho asintótico de los machos y la curva azul describe a las hembras.	30
Figura 13: Correlación entre el ancho asintótico (cm) y el desembarque (ton) de las hembras de <i>O. trimaculatus</i> . a) corresponde a un desfase de dos años (Lag 2) y b) corresponde a un desfase de tres años (Lag 3).	31
Figura 14: Análisis de correlación entre el ancho asintótico (cm) y la temperatura superficial del mar (°C) de los machos de <i>O. trimaculatus</i> con un desfase de dos años (Lag 2).	32
Figura 15: Análisis de correlación entre el ancho asintótico (cm) y la concentración de clorofila-a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) con desfase de 1 año (Lag 1) en las hembras de <i>O. trimaculatus</i>	33

Índice de abreviaturas

AC^∞ : Ancho cefalotorácico infinito o ancho de caparazón asintótico

ASP: Available sum points (suma de puntos disponibles).

ELEFAN: Electronic Length Frequency Analysis.

ESP: Explain sum points (suma de puntos explicativos).

IFOP: Instituto de Fomento Pesquero.

L^∞ : Largo asintótico

P_{hs} : peso histórico por sexo.

P_{ht} : peso histórico total.

P_s : peso por sexo.

P_t : peso total.

SERNAPESCA: Servicio Nacional de Pesca

SUBPESCA: Subsecretaria de pesca

Resumen

En las últimas décadas, se han incrementado las investigaciones acerca del impacto de la pesquería en diversos aspectos biológicos de las especies con valor comercial, como por ejemplo la reducción de la abundancia y el tamaño de los individuos de las poblaciones. El presente estudio evaluó la relación de la pesca artesanal sobre los tamaños de *Ovalipes trimaculatus* (jaiba remadora) en el periodo 2002 -2014 en las costas de la Región del Maule. Para ello se cuantificó los anchos del caparazón o cefalotorax y la relación alométrica (ancho cefalotórax/peso total) año a año tanto para machos como para hembras. Con el fin de detectar alguna respuesta a las variaciones de los tamaños, se estimó una variable pesquera, largo asintótico (L^∞), con un modelo pesquero de von Bertalanffy la cual se correlacionó con la intensidad de pesca medida en desembarques por año y variables ambientales tales como la temperatura superficial del mar y la concentración de clorofila-a. Estas correlaciones consideraron retardos o lags con el fin de explorar efectos desfasados entre anchos asintóticos y la pesca artesanal y las variables ambientales. Los resultados mostraron que: 1) los machos presentaron una alometría positiva la cual varió entre años y las hembras una alometría negativa global y por año, 2) las estimaciones del ancho del caparazón no presentó una disminución constante durante el periodo de análisis para ambos sexos, 3) se detectó una correlación negativa y significativa indicando que, al aumentar el esfuerzo de pesca, disminuye el tamaño de las hembras luego de dos y tres años, 4) La temperatura superficial del mar se asoció positivamente con el ancho asintótico en los machos y 5) la clorofila-a se correlacionó positivamente con el tamaño de las hembras. Estos resultados sugieren que no solo las variables ambientales pueden asociarse con los tamaños de la especie de estudio, sino también la pesca artesanal. A diferencia de otras especies que han mostrado reducciones del tamaño sostenidas en el

tiempo debido a las pesquerías, *O. trimaculatus* mostró reducciones reversibles del tamaño en el tiempo, posiblemente debido a los grandes tamaños poblacionales. En este sentido, se requiere analizar los datos de las tallas de pesquerías desde un enfoque holístico que incorpore factores ambientales como pesqueros junto con sus variaciones temporales a distintas escalas. Por lo tanto, la información obtenida en este seminario de título podría ser considerada en la generación de planes de manejo que aseguren una pesca artesanal en miras de un desarrollo sustentable.

Abstract

In recent decades, research has focused on the impact of the fishery on several biological features of the commercially important species, such as the reduction of the abundance and the size of the individuals within populations. This study evaluated the relationship between the artisanal fishing and the sizes of the *Ovalipes trimaculatus* (crab rowing) in the period 2002-2014 on the coasts of the Maule Region. The carapace or cephalothorax widths was measured and the allometric ratio (cephalothorax width/total weight) per year was estimated for both males and females. In order to detect a pattern for the variations in sizes, the asymptotic length (L_{∞}) obtained with von Bertalanffy model, was correlated with the fishing intensity measured in landings per year and the environmental variables such as the sea surface temperature and the chlorophyll-a concentration. These correlations considered delays or lags to explore a delay of the effect of the artisanal fisheries and the aforementioned environmental variables with the asymptotic widths of crabs. The main results were: 1) males showed a positive allometry with variation among years and females showed negative allometry without variation among years, 2) the estimates of the width of the carapace did not showed a constant decrease during the analysis period both for males and for females, 3) a significant negative correlation was detected showing a female size decrease associated with the fishing effort increasing with a lag of two and three years, 4) the surface temperature was positively associated with the asymptotic width in the males and 5) the chlorophyll-a correlated positively with the female size. These results showed that both fishery and environmental variables can influence the sizes *O. trimaculatus*. Unlike other species that have shown sustained size reductions over time due to fisheries, *O. trimaculatus* showed reversible reductions in size over time, possibly due to large population sizes. In this sense, it is necessary to analyze the data of

the sizes of fisheries from a holistic approach that incorporates environmental factors such as fishing along with their temporal variations at different scales. Therefore, information obtained in this research could be considered in a development of a sustainable artisanal fishery of crabs.

Introducción

La pesca artesanal, definida como la actividad pesquera extractiva de menor escala, es decir, las embarcaciones menores de 19 m de eslora o 50 toneladas de capacidad de bodega, realizada por personas naturales en forma personal, directa y habitual, inscritos en el Registro Pesquero Artesanal, con o sin el empleo de una embarcación artesanal (SERNAPESCA 2018), representa el 43% de toda la actividad de extracción marina (Palma et al. 2015), esto sin considerar la acuicultura. Esta pesca artesanal incluye al menos 100 especies compuestas principalmente de peces, crustáceos, moluscos, equinodermos, tunicados y algas (SERNAPESCA 2016).

Esta actividad ha influido largamente en diversos aspectos biológicos de las distintas especies en explotación. Si bien se tiende a priorizar la disminución de los individuos de las poblaciones con el gran problema, otro efecto que se ha comenzado a evidenciar es la disminución de los tamaños de los organismos. Por ejemplo, varias especies de peces en Colombia (Narváez et al., 2008), el salmón rosado del pacífico (*Oncorhynchus gorbuscha*) en Canadá (Ricker et al., 1978) y quizás el caso más emblemático es la disminución de las poblaciones y el tamaño de los individuos del bacalao (*Gadus morhua*) atribuido específicamente a la gran explotación pesquera (Kenchington & Kenchington, 1993).

Sin embargo, estos cambios del tamaño de los individuos de las diferentes cohortes también podrían estar influenciados por factores ambientales. Por ejemplo, la clorofila-a, la cual es utilizada como proxy de biomasa de fitoplancton (Hakanson et al., 2007) y de la productividad primaria de los ecosistemas marinos, es decir, es un indicador de fuente de alimento disponible en el océano (Rodríguez et al., 2015). Cuando aumenta la abundancia de fitoplancton, consecuentemente se incrementa la abundancia de consumidores

primarios como peces y zooplancton. Esto es conocido como control *bottom-up* de un ecosistema y puede influenciar el aumento de biomasa hasta los niveles tróficos superiores (i.e. depredadores topes) (Cury et al., 2003). Por lo tanto, la variación en la concentración de clorofila-a podría influir en la abundancia en niveles tróficos superiores (Vásquez et al., 1998). Si bien existe literatura en donde se ha publicado el efecto de la densidad de presas en la sobrevivencia de las zoeas de *Callinectes sapidus* (Maurer et al., 2017) y Alvarez (2014) reportó que, bajo condiciones de cautiverio, los individuos de *Metacarcinus edwardsii* son de mayor tamaño cuando son alimentados con presas de gran tamaño. Esto podría indicar la importancia del efecto *bottom-up* de la concentración de clorofila-a mencionado en el párrafo anterior.

Otro factor ambiental de importancia es la temperatura del mar. Varios autores plantean que las temperaturas cálidas incrementan la tasa metabólica y la tasa de crecimiento (Meekan et al., 2003; Green & Fisher, 2004; Sponaugle & Grorud-Colver, 2006), entonces podría ejercer efectos sobre los tamaños de los organismos acuáticos. También, se ha visto que se asocia positivamente con la talla de madurez sexual en la especie *Callinectes bellicosus* (Rodríguez et al., 2015). Sin embargo, también se correlaciona negativamente en otras especies de jaibas como *Callinectes sapidus* (Hines et al., 2010) y *Cancer irroratus* (Campbell & Eagles, 1983).

En el caso de moluscos, en Chile se describe el caso del loco (*Concholepas concholepas*). A pesar de que esta especie ha sido de gran importancia para las comunidades litorales (Báez et al., 2003), su explotación artesanal causó una disminución vertiginosa de los desembarques después de los años 90 (SUBPESCA 2012). En el caso de los crustáceos, también se ha descrito una disminución de los tamaños, la cual ocurriría al pescar individuos de una talla cercana al periodo de muda. Esto se ha descrito en el

cangrejo moro (*Menippe mercenaria*) (Aguila, 2015), *Metacarcinus magister* (Smith & Jamieson, 1991) y *Goniopsis cruentata* (Hirose et al., 2015). Si bien existe bastante información, en general esta se encuentra fraccionada o se realiza en cortos periodos de tiempo, por lo tanto, no es posible conocer sus consecuencias en una escala de tiempo mayor.

En Chile, existen 32 especies de crustáceos en plena explotación pesquera, principalmente artesanal e industrial como lo son el langostino (*Cervimunida johni*) y el camaron nylon (*Heterocarpus reedi*) en la zona centro norte del país. En el caso de brachyuros de gran tamaño, las especies de la Familia *Cancriidae* son especialmente comercializadas en la zona centro sur del país. Algunas de estas especies son la jaiba limón (*Cancer porteri*), jaiba peluda (*Romaleon setosum*), jaiba reina (*Cancer plebeius*), jaiba mola (*Metacarcinus edwardsii*), las cuales presentan una problemática similar a la del loco donde después de un *peak* de explotación los desembarques disminuyen bruscamente (Aedo et al., 2009). Sin embargo, un análisis de efectos en la talla media de captura es preocupantemente ausentes la literatura especializada.

Otra especie de jaiba explotada en Chile en menor escala, pero con un alto valor local y social en las caletas pesqueras es *Ovalipes trimaculatus* (De Haan, 1833) conocida como “jaiba blanca o remadora”. El nombre de esta especie se debe a que el último segmento (dactilopodito, ver Fig. 1) del quinto par de patas es un apéndice ovalado y plano como un remo, permitiéndole enterrarse en el sustrato en el que habita, rasgo distintivo de la especie y su familia (Aedo et al., 2009). Se distribuye globalmente en ambientes de altas latitudes desde los 25°S hasta los 45° S (Boschi et al., 1992), en las costas este y oeste de Sudamérica y Sudáfrica (Arnaud et al., 1972; Nakamura et al., 1986; Boschi et al., 1992;

Retamal & Arana, 2000). En Chile, se distribuye desde Arica al canal Trinidad y Archipiélago de Juan Fernández (Retamal & Arana, 2000).

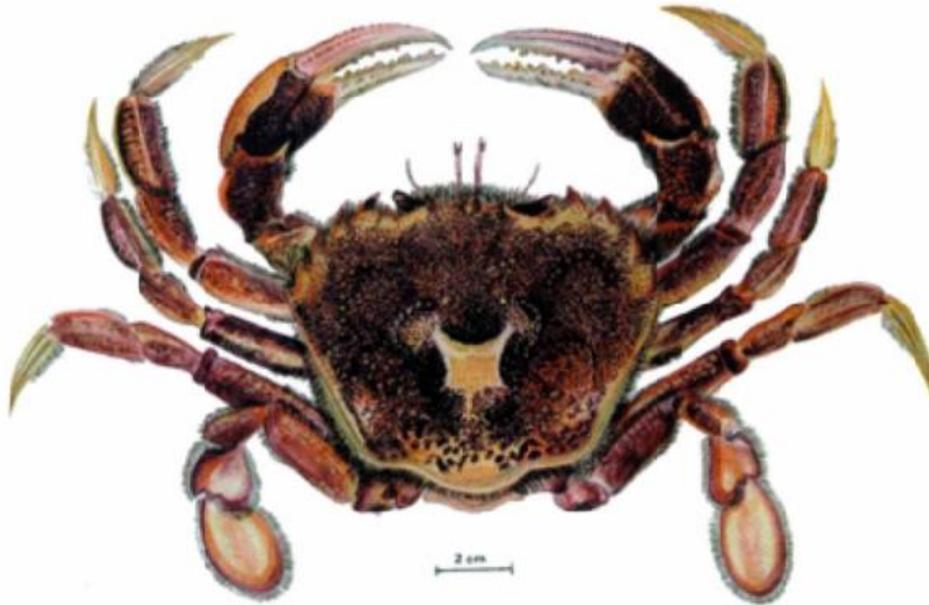


Figura 1: Jaiba remadora. *Ovalipes trimaculatus*. El quinto par de patas (dactilopodito) posee una forma ovalado semejante a la de un remo. Tomado de Retamal & Arana (2000).

O. trimaculatus se encuentra generalmente en fondos de arena, enterrada lo que permite ocultarse de los depredadores (Melo, 1996). El ciclo de vida incluye ocho estadios de larvas zoea y una de megalopa (Schoeman & Cockcroft, 1996) previa al asentamiento juvenil (Fig. 2). Los juveniles habitan en el intermareal alimentados de materia orgánica y animales vermiformes hasta ser adultos habitando fondos arenosos. Luego, en periodos estivales, cada hembra puede producir en promedio más de 500.000 huevos (Aedo et al., 2009).

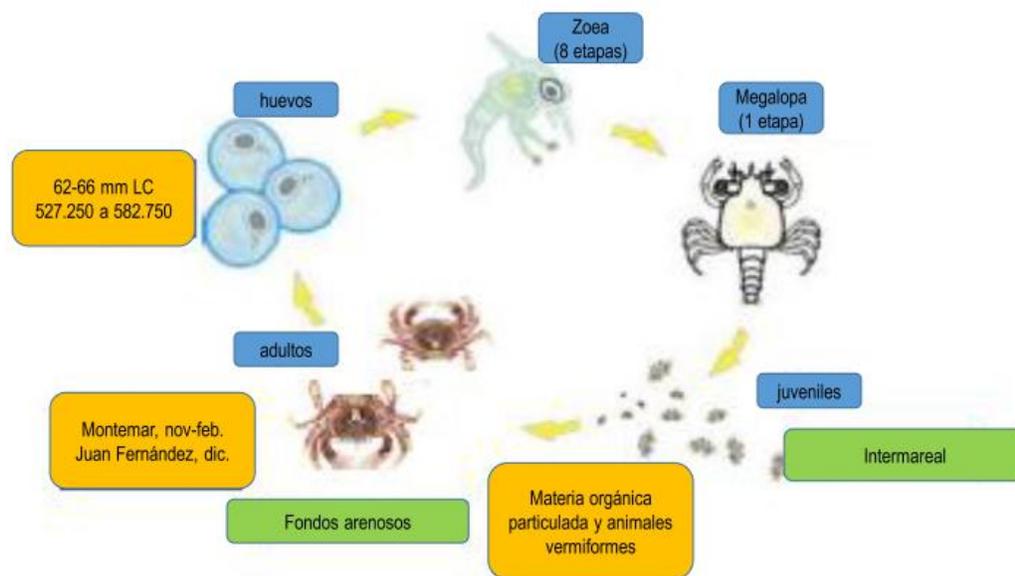


Figura 2: Ciclo de vida de *Ovalipes trimaculatus* (tomado de Olguín et al., 2017)

Se ha discutido cuando es el periodo reproductivo o de desove más probable en esta especie, proponiéndose un periodo estival (Aedo et al., 2009), pero estudios recientes realizados por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), informaron la presencia de hembras ovígeras durante todo el año, con mayor presencia en los meses cálidos desde septiembre hasta enero (Olguín et al., 2017).

La Fig. 3 muestra como los desembarques de *Ovalipes trimaculatus* desde el año 2002 aumentan paulatinamente alcanzando un máximo de 231 toneladas en el año 2009, para luego el año 2010 disminuir a 129 toneladas hasta alcanzar un máximo de 299 toneladas el año 2014. Desde esa fecha a la actualidad se mantienen los desembarques en 186 en promedio por año. Esta especie, como recurso pesquero, no presenta tallas mínimas de extracción, pero si presenta una veda indefinida para las hembras dictada por Decreto Supremo del Ministerio de Economía (D.S MINEDECOM 009/ 1990).

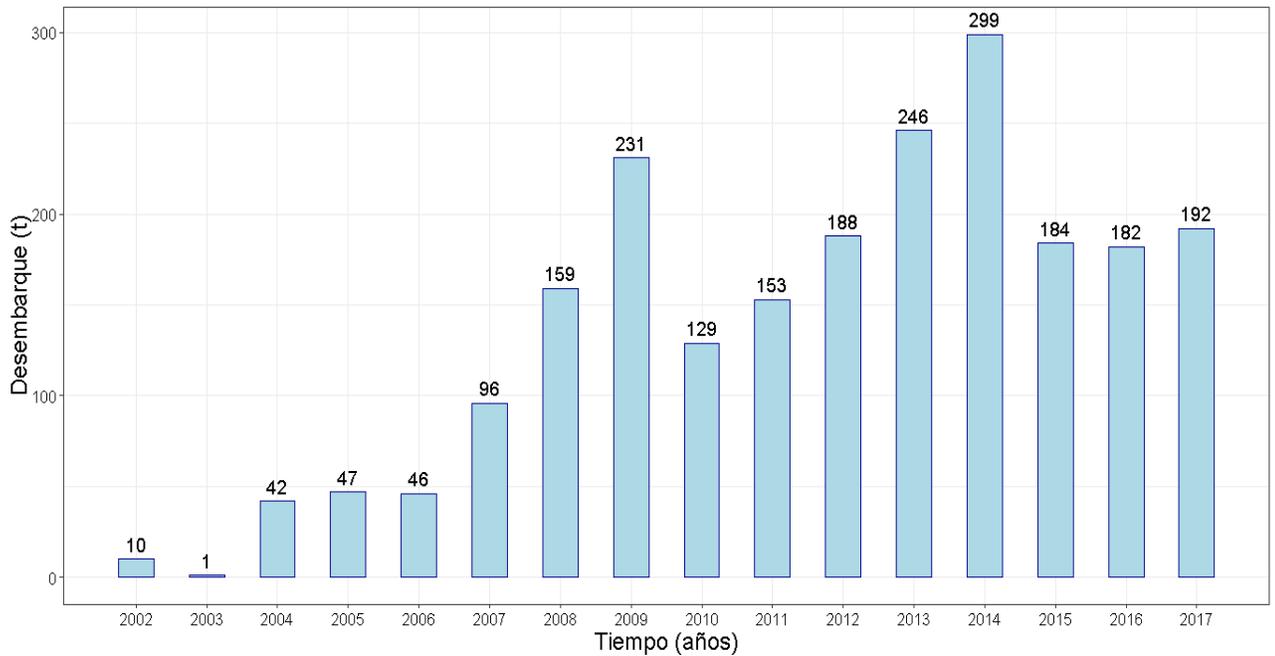


Figura 3: Desembarque total nacional de jaiba remadora periodo 2002-2017 (fuente anuario SERNAPESCA 2012 y 2017, elaboración propia).

En este sentido, las ciencias pesqueras otorgan herramientas matemáticas que permiten estimar parámetros poblacionales en base a datos morfológicos como el tamaño, la edad de los individuos o a fecha de captura medida diaria, mensual y/o anualmente. Cuando se puede estimar la edad de un individuo a partir de una estructura morfológica o *proxy*, se pueden realizar entonces estimaciones de parámetros de crecimiento como en el caso del pez *Haemulon steindachneri* donde utilizaron los radios de los otolitos como un *proxy* de la edad de los individuos para su posterior estimación de parámetros (Morales & González, 2009). Este método se conoce como método directo de estimación (Argumedo 2012).

Sin embargo, cuando se desconoce o no existe una estructura morfológica del individuo que sirva como *proxy* de la edad, los parámetros se estiman a partir del estudio

de cohorte observando la variación del largo o ancho del cefalotórax y la frecuencia de captura en el tiempo, es decir, el incremento de la relación talla/frecuencia (Petriella & Boschi, 1997). Modelos tales como el de von Bertalanffy permiten estimar parámetros tales como el tamaño infinito (L_{∞}) y el número de cohortes desde un grupo de datos con el fin de aproximarse a un análisis poblacional pesquero. Este enfoque se ha realizado en estudios en pequeños peces pelágicos de Talcahuano (Cubillos et al. 2001), en *Callinectes arcuatus* y *C. bellicosus* en Mexico (Hernández & Arreola-Lizárraga, 2007), en *Romealeon setosum* (Argumedo 2012), en *Callinectes sapidus* (Rosas-Correa & Jesús-Navarrete, 2008), entre otros. Este método se conoce como método indirecto de estimación (Argumedo 2012), debido a la inexistencia de estructuras duras permanentes en los crustáceos, que registren las marcas del incremento de talla (Petriella & Boschi, 1997).

En diversos estudios se ha utilizado técnicas biométricas como la relación ancho del cefalotorax y peso total (Narvarte et al., 2007; Araujo & Lira 2012; Dash et al., 2013; Afzaal et al., 2018) para caracterizar el tipo de crecimiento, si es alométrico negativo (los individuos de mayor talla tienden a ser más alargados que los de menor talla), alométrico positivo (los individuos desde etapas tempranas adquieren más masa que longitud) o si es isométrico (la longitud se incrementa proporcional al peso) (Froese, 2006).

Por lo tanto, es relevante investigar los cambios que puede ejercer la pesca artesanal sobre diversos rasgos morfológicos y/o reproductivos de las especies comerciales en el tiempo, considerando también la influencia de los factores ambientales. Por ello, este estudio evaluó la relación de la pesca artesanal y de variables ambientales en el ancho del cefalotorax de *Ovalipes trimaculatus* durante 13 años de extracción en las costas de la Región del Maule.

Hipótesis

Considerando la existencia de cambios interanuales de temperatura, clorofila-a y esfuerzo de pesca, entonces estos factores se asocian significativamente con los cambios de los tamaños de machos y hembras de *Ovalipes trimaculatus* durante los 13 años de estudio (desde el 2002 hasta el 2014) en la costa de la Región del Maule.

Objetivo general

Describir los cambios en los parámetros pesqueros durante el periodo 2002-2014 y asociarlo a cambios en variables tales como temperatura, clorofila y desembarques en la jaiba comercial *Ovalipes trimaculatus*.

Objetivos Específicos

- Estimar la alometría interanual para machos como para hembras.
- Estimar los anchos asintóticos cefalotórax máximos en una escala temporal de 13 años en machos y hembras.
- Correlacionar los anchos de cefalotórax estimados y con el esfuerzo de pesca anual para evaluar el efecto de la extracción en machos y hembras.
- Correlacionar los anchos de cefalotórax estimados con la temperatura superficial del mar y con el nivel de clorofila-a para evaluar efectos ambientales en machos como en hembras.

Metodología

Sitios de estudio

El área de estudio se sitúa en la caleta de Curanipe, Región del Maule, lugar donde desembarcan crustáceos desde diferentes lugares de pesca tales como Bahía Chanco, Pelluhue, Tregualemu, Chovellén, Curanipe, Buchupereu de la Región del Maule (ver Fig.4).

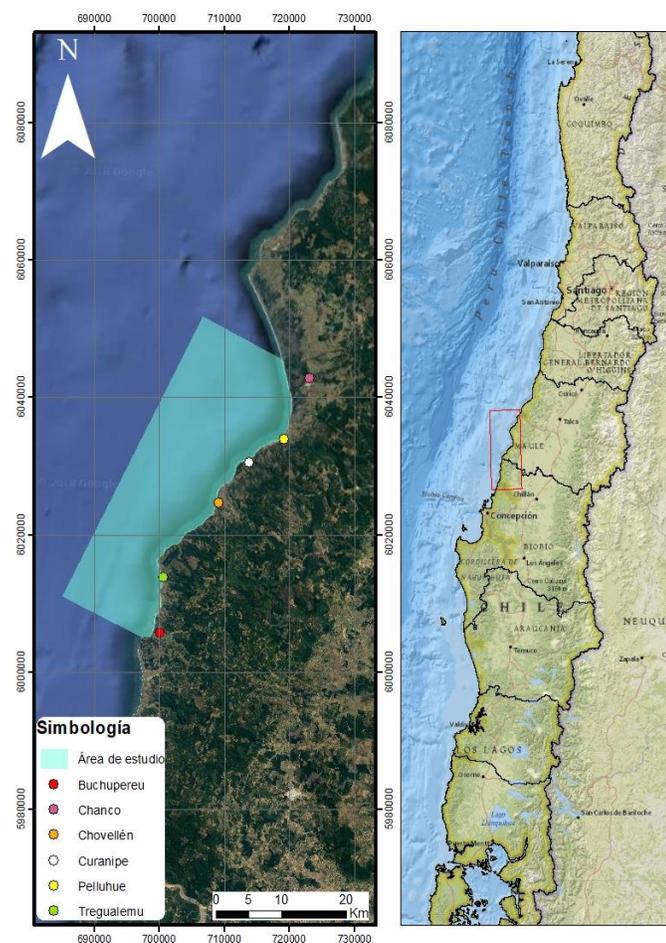


Figura 4: Mapa de sitio de estudio de las costas de la Región del Maule. A la derecha se muestra un mapa general de Chile en donde se señala el sitio de estudio con un rectángulo rojo. A la izquierda, un mapa que incluye el área de estudio y las localidades de pesca.

Desde este lugar, el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) recopiló información de la jaiba *Ovalipes trimaculatus* durante 13 años (2002 al 2014). Esta base de datos contiene información de las capturas de la especie, separando por sexo y dos medidas morfométricas: peso total y ancho del cefalotórax, medidos en gramos y milímetros respectivamente. Cabe destacar que las mediciones fueron diarias y según el día de captura (dado que no se pescó todos los días del mes) en las distintas localidades. Sin embargo, todas desembarcan en el mismo puerto (Curanipe) sin hacer distinción de la proveniencia (Bahía Chanco, Pelluhue, Tregualemu, Buchupereu, Chovellén).

El área de estudio comprende las 5 primeras millas donde se lleva a cabo la pesca artesanal (Ley N°18892, 1989), espacio de donde se estimaron las variables ambientales, las cuales se explicarán posteriormente.

Base de datos

En el presente trabajo se utilizaron dos bases de datos proporcionadas por el Instituto de Fomento pesquero (IFOP):

- a) La primera base de datos contiene información sobre medidas sobre los desembarques totales históricos de *O. trimaculatus* por año, en el periodo 2002-2014, pero sin realizar distinción de sexos.

- b) La segunda base de datos es una submuestra de la base descrita anteriormente. Contiene información sobre medidas del ancho cefalotorácico y peso total por año, mes y día, desde el año 2002 hasta el 2014, tanto para machos como para hembras. El tamaño muestral total fue de 150.185 individuos, con 107.446 machos y 42.739 hembras (ver Tabla 1 para mayor detalle). De este cuerpo de datos, se realizaron

los análisis para estimar los anchos asintóticos y la relación peso ancho/cefalotorax. En las secciones siguientes se explicará en mayor detalle.

Debido a que en la primera base de datos históricos no se conoce el esfuerzo de pesca de machos y hembras en cada año, se estimó utilizando una proporción simple entre los pesos totales de la segunda base con los de la primera base de datos, como ilustra la ecuación:

$$Ph_s = \frac{P_s}{P_t} * Pht \quad (1)$$

Donde P_{hs} : peso histórico por sexo; P_s : peso por sexo; P_t : peso total; Pht : peso histórico total.

La proporción $\frac{P_s}{P_t}$ corresponde a los desembarques de la segunda base de datos. Luego, se extrapola a la primera base de datos o base histórica de capturas, a través de una multiplicación entre el peso total histórico (P_{ht}) y la proporción mencionada para obtener un resultado estimativo de los pesos históricos por sexo (P_{hs}) en la segunda base de datos. Esto permitió realizar los análisis de correlaciones con desfase para observar efectos posteriores de la actividad pesquera. Esto último se detallará en secciones siguientes.

Las siguientes tablas resumen el contenido del proceso explicado en los párrafos anteriores. La Tabla 2 muestra el cálculo de los pesos totales para macho y hembras junto con el desembarque total número total de individuos de la primera base. La Tabla 3 muestra los desembarques totales por año y, además, los desembarques estimados por sexo a partir de la primera base de datos. Cabe destacar que los resultados de las tablas tienen un fin ilustrativo dado que se usaron todos los decimales para calcular los análisis de correlaciones que se explicaran en las próximas secciones.

Tabla 1: Número de individuos de la segunda base datos, separado por sexos y total de individuos por año. Encabezado: N_h: número de hembras; N_m: número de machos; N_t: número total de individuos.

Año	N _h	N _m	N _t
2002	1969	3895	5864
2003	3463	7178	10641
2004	3951	10152	14103
2005	5700	7884	13584
2006	4567	12393	16960
2007	2614	15417	18031
2008	2814	11133	13947
2009	1830	6822	8652
2010	1831	3725	5556
2011	3654	7304	10958
2012	3286	7599	10885
2013	3950	7386	11336
2014	3110	6558	9668
Total	42739	107446	150185

Tabla 2: Peso total por sexo, además del peso total de la segunda base de datos de *Ovalipes trimaculatus*. Encabezado: P_h: peso total hembras; P_m: peso total machos; P_t: peso total de la población.

Año	P _h (t)	P _m (t)	P _t (t)
2002	0,294	0,894	1,19
2003	0,523	1,43	1,95
2004	0,559	2,31	2,87
2005	0,834	1,62	2,45
2006	0,680	2,68	3,36
2007	0,386	3,41	3,80
2008	0,421	2,59	3,02
2009	0,280	1,80	2,09
2010	0,309	1,06	1,37
2011	0,631	1,66	2,29
2012	0,511	1,68	2,19
2013	0,627	1,63	2,26
2014	0,466	1,42	1,88

Tabla 3: Resumen de la base histórica de capturas de *O. trimaculatus*. Las capturas por sexo se extrapolaron a partir de la ecuación (1). Encabezado: P_{hh}: peso histórico hembras; P_{hm}: peso histórico machos; P_{ht}: peso histórico total.

Año	P _{hh} (t)	P _{hm} (t)	P _{ht} (t)
2002	6,65	20,2	26,881
2003	7,62	20,8	28,392
2004	6,38	26,4	32,766
2005	5,99	11,6	17,594
2006	4,17	16,4	20,618
2007	2,84	25,1	27,991
2008	4,27	26,3	30,618
2009	4,09	26,4	30,518
2010	6,45	22,2	28,648
2011	13,0	34,2	47,154
2012	12,6	41,1	53,698
2013	11,0	28,6	39,568
2014	12,9	36,8	48,888

Análisis de datos

Se utilizaron diversas técnicas estadísticas y de modelamiento matemático para tratar y relacionar los cambios en los tamaños de los individuos con alguna variable que explique estos cambios. Estos análisis se realizaron considerando machos y hembras de la especie. A continuación, se explicará de manera concisa el procesamiento de datos.

Relación alométrica

Se realizó un análisis de la relación peso total/ancho cefalotorax para machos y hembras por cada año (2002-2014) y considerando todo el pool de datos para ambos sexos. La relación se describe a continuación:

$$Pt = aAC^b \quad (2)$$

donde,

Pt: peso total.

AC: Ancho del cefalotorác.

a: constante del modelo.

b: constante de crecimiento.

Para estimar los factores a y b se transformó a logaritmo la expresión (1) en:

$$\text{Log}(W) = \text{Log}(a) + b * \log(L) \quad (3)$$

Entonces, a partir de una regresión lineal se estimaron ambos factores. Luego, para distinguir si la especie posee un crecimiento isométrico o alométrico, se usó la prueba de hipótesis de alometría del paquete FSA (Ogle, 2015) implementado en el programa R (R Core Team 2018), donde:

H0: $\beta=3$ (crecimiento isométrico)

H1: $\beta \neq 3$. (crecimiento alométrico)

Cuyo estadístico de prueba es:

$$t = \frac{b - b_0}{ESb} \quad (4)$$

Por ejemplo, si se obtiene un valor $b = 3,09$ pero un $p > 0.05$ entonces, no se rechaza la hipótesis nula y, se infiere que la especie posee un crecimiento isométrico. En caso

contrario, si $p < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula y se infiere que la especie posee un crecimiento alométrico, en particular, positivo dado que es mayor a 3. De esta manera, se evaluó por año si hubo cambios en el tipo de crecimiento de machos y hembras, además de considerar todos los años. Se consultó la guía de La Hoz (2018) quien utilizó los scripts en el caso de ejemplo de la relación longitud en peces.

Modelo de crecimiento

Se utilizó un modelo de crecimiento para estimar parámetros pesqueros, por ejemplo, largo asintótico o L_{∞} , con el fin de compararlos entre años y relacionarlos con las variables que puedan explicar las diferencias encontradas en cada año. Esta herramienta permite caracterizar el crecimiento máximo que puede alcanzar una población a través del tiempo, entonces, se podría evaluar la variación de L_{∞} interanual para comprender posibles cambios en los tamaños de los individuos.

En este caso, se usó el modelo de crecimiento de Somer (1988) que es una versión modificada del modelo de L. von Bertalanffy: $L(t) = L_{\infty} (1 - e^{-K(t - t_0)}) + S(t) - S(t_0)$ (5), donde:

L_{∞} : largo asintótico.

$L(t)$: largo a una edad t .

K : constante de curvatura de von Bertalanffy.

t : edad relativa o tiempo.

t_0 : edad teórica donde la longitud de un individuo es cero.

$S(t)$ se define como:

$S(t) = (C \cdot K / 2\pi) \sin 2\pi(t - t_s)$, tal que

C: es la amplitud de la oscilación en donde se representa la variable estacional.

K: Constante de curvatura de von Bertalanffy.

t: edad relativa o tiempo.

t_s : la fase de una oscilación del crecimiento en un año.

También se considera el índice de crecimiento \emptyset (Munro & Pauly, 1983) definido como:

$$\emptyset = \text{Log}_{10}(K) + \text{Log}_{10}(L_{\infty})$$

En este caso se estudió el ancho del caparazón o ancho cefalotorácico por lo que se abreviara AC_{∞} en vez de L_{∞} , dado que es una terminología mas apropiada para el estudio de brachyuros decápodos.

Para poder estimar estos parámetros se utilizó el sistema ELEFAN (Electronic Length Frequency Analysis). ELEFAN permite realizar análisis de estimación indirecta de parámetros de crecimiento a través de datos de largo-frecuencia (Pauly, 1987), el cual puede utilizar modelos de von Bertalanffy tanto estacionales como no estacionales. Una de las ventajas de ELEFAN es que las variables no necesitan distribuirse de una forma normal (Pauly, 1987).

Brevemente, la metodología considera los siguientes pasos. Primero, se obtiene el histograma de la variable morfológica (Fig. 5a), luego se obtiene un reordenamiento de las clases (Fig. 5b) y, a partir del algoritmo de crecimiento, se reestructura las frecuencias obteniendo los puntos disponibles por donde la curva de crecimiento atraviesa. Esto entonces se denomina suma de puntos disponibles o *available sum points* (ASP). Los ASP se componen por picos o *peaks* y valles o *throughs* (Fig.5c., peaks: barras color blanco; throughs: barras color negro).

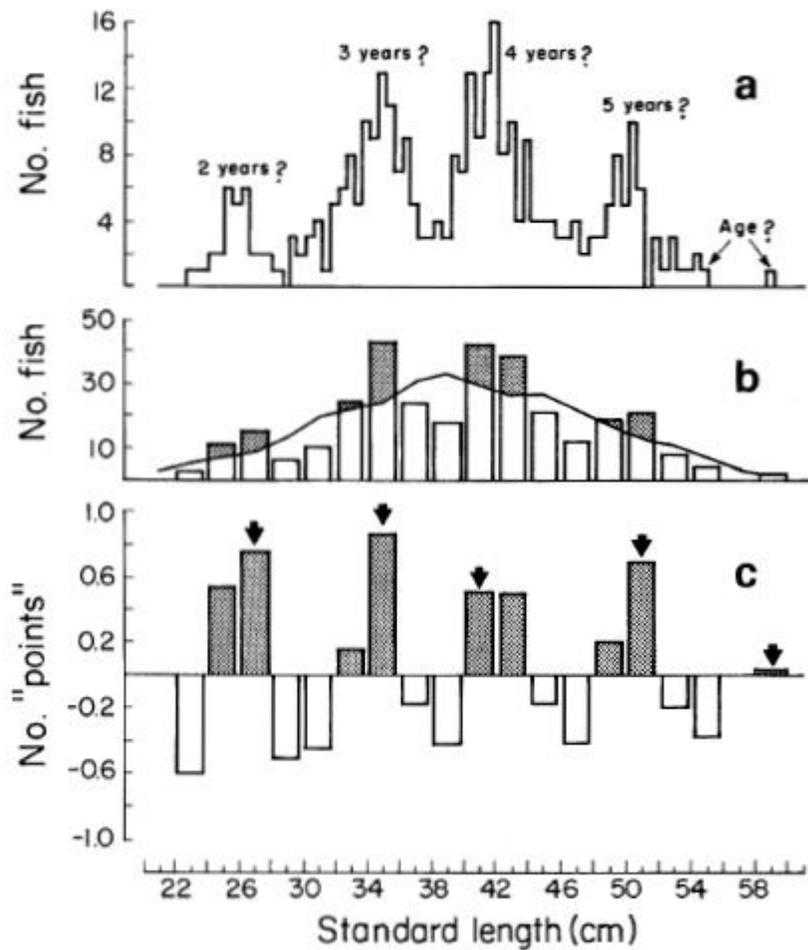


Figura 5: Análisis de los datos largo-frecuencia de la especie de coral (*Plectropomus leopardus*) con el fin de estimar cohortes con ELEFAN. a) datos originales ordenados en intervalos de 5 mm, b) los mismos datos, pero re-ploteados en 2 cm, c) datos reestructurados donde se aprecian los puntos disponibles (ASP). Fuente: Pauly (1987).

Finalmente, la curva de crecimiento comenzará a acumular los picos evitando los valles. Dichos puntos acumulados se denominan suma de puntos explicativos o *explain sum points* (ESP). En la Fig. 6 se ilustra de manera más clara:

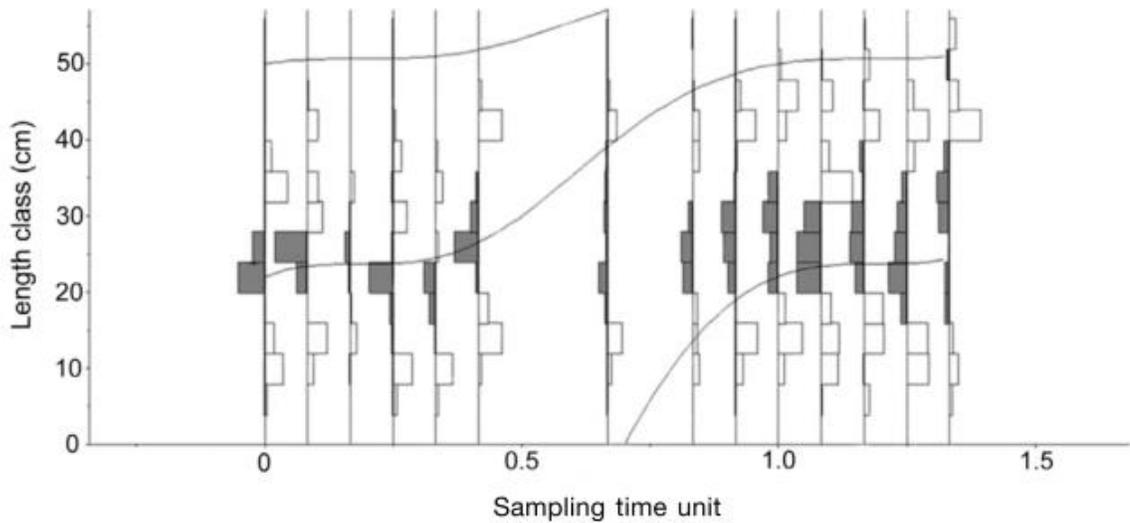


Figura 6: Análisis ELEFAN con datos de largo-frecuencia del pepino de mar *Holothuria arguinensis* desde noviembre del 2012 hasta marzo del 2014. La unidad de tiempo 0 representa el mes en que comenzó el muestreo, noviembre 2012, y el valor 1 corresponde a noviembre del 2013. Fuente: tomado de Olaya-Restrepo et al. (2017).

En la Fig. 6, el eje x representa el tiempo de captura y el eje y el largo por clases (cm). Como se observa, la curva de crecimiento atraviesa los *peaks* (barras negras) y evita los *throughs* (barras blancas). De esta forma, se genera la curva de crecimiento permitiendo la estimación de L^∞ .

Por último, para medir el ajuste de los datos al modelo, se utilizó el índice R_{nmax} que se define como el cociente entre el ESP y ASP: $R_{nmax} = \frac{ESP}{ASP}(6)$. Este análisis se realizó por año por separado desde el 2002 hasta el 2014 para *O. trimaculatus*. Por lo tanto, se obtuvieron 13 valores de AC^∞ a partir del ancho del cefalotórax. Además, ELEFAN entrega una variable llamada t_{anchor} considerada como el tiempo de desove de la especie.

Estadística descriptiva

Para caracterizar el conjunto de datos y estimar un posible sesgo del L^∞ en relación con los datos observados, se estimaron diferentes medidas de posición como moda, mediana, media, mínimo y máximo asociados al ancho del cefalotórax y también de dispersión como la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación para machos y hembras. Esos estadísticos fueron estimados a partir de la primera base de datos descrita en la sección de base de datos.

Variables ambientales adquiridas a partir de imágenes satelitales

Con el fin de asociar cambios en los tamaños de *O. trimaculatus* con alguna variable ambiental, se obtuvo información de acceso libre desde la página web de la NASA. La NASA (National Aeronautics and Space Administration) dispone de satélites MODIS (MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer). En particular, *Aqua* MODIS provee de imágenes satelitales, utilizándose para este estudio las imágenes que contenían información sobre la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) (OBPG, 2015) y la clorofila-*a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) (OBPG, 2015), cada una con un nivel de resolución de 4km. Para la temperatura, se procesaron 13 mapas desde el 2002 hasta el 2014. Para la clorofila se procesaron mapas mensuales durante el periodo 2002 – 2014; se hizo un promedio anual para poder contrastar con los tamaños de la especie en estudio. Se utilizó el software *Seadas* (Baith et al., 2001) para el procesamiento de las imágenes satelitales.

Contrastando los cambios en el tamaño de *O. trimaculatus* con las variables ambientales seleccionadas y la intensidad pesquera (desembarques).

Para relacionar los cambios en el tamaño, ya sea valor máximo, media o L^∞ , con la temperatura, clorofila y la intensidad pesquera se realizaron correlaciones de Pearson. Sin embargo, la relación podría ser no la máxima el mismo año de la medición, sino afectar periodos posteriores. Por ejemplo, la temperatura y la clorofila podrían estar afectando el tamaño de estadios tempranos los cuales pueden ser observadas solo cuando entren en las cohortes que se encuentran en pesquería. Entonces, para evaluar como una variable se asocia a otra en una secuencia temporal se buscó por una asociación cíclica o puntual de retardo utilizando la función *Lag* del paquete *Zoo* (Zeileis & Grothendieck, 2005) implementada en el programa R. En este caso, las variables ambientales como la temperatura y clorofila junto con los desembarques fueron asociándose iterativamente con las medidas de L^∞ utilizando *lag* sin desfase o asociaciones en el mismo año ($\text{lag} = 0$) y con desfase de 1 año hasta 6 años ($\text{lag} = 1$ y $\text{lag} = 6$), tanto para machos como para hembras.

Para cada uno de los *lags*, se usó test de correlación de Pearson con el fin de detectar el lag que entregue el mayor (positivo o negativo) valor de determinación r y su respectiva significancia. Para realizar estos análisis se utilizaron los paquetes “TropFishR”, (Mildenberger et al., 2017; Mildenberger & Taylor, 2017), “Zoo” (Zeileis & Grothendieck, 2005) y ggplot2 (Wickham, 2016), implementados en el software R (R Core Team 2018).

Resultados

Para todos los datos, la relación ancho cefalotoráx-peso total mostró diferencias entre machos y hembras (Fig. 7). Se observó que los machos de *O. trimaculatus* presentaron un crecimiento alométrico positivo y significativamente distinto a un crecimiento isométrico dado por el ajuste test de alometría ($b = 3.075$ y $P < 0.05$). En las hembras, se encontró un crecimiento alométrico negativo y también significativamente distinto a un crecimiento isométrico ($b = 2.688$ y $P < 0.05$). La constante a fue 0.2407 para los machos y 0.527 para las hembras (ver ecuaciones en la Fig. 7).

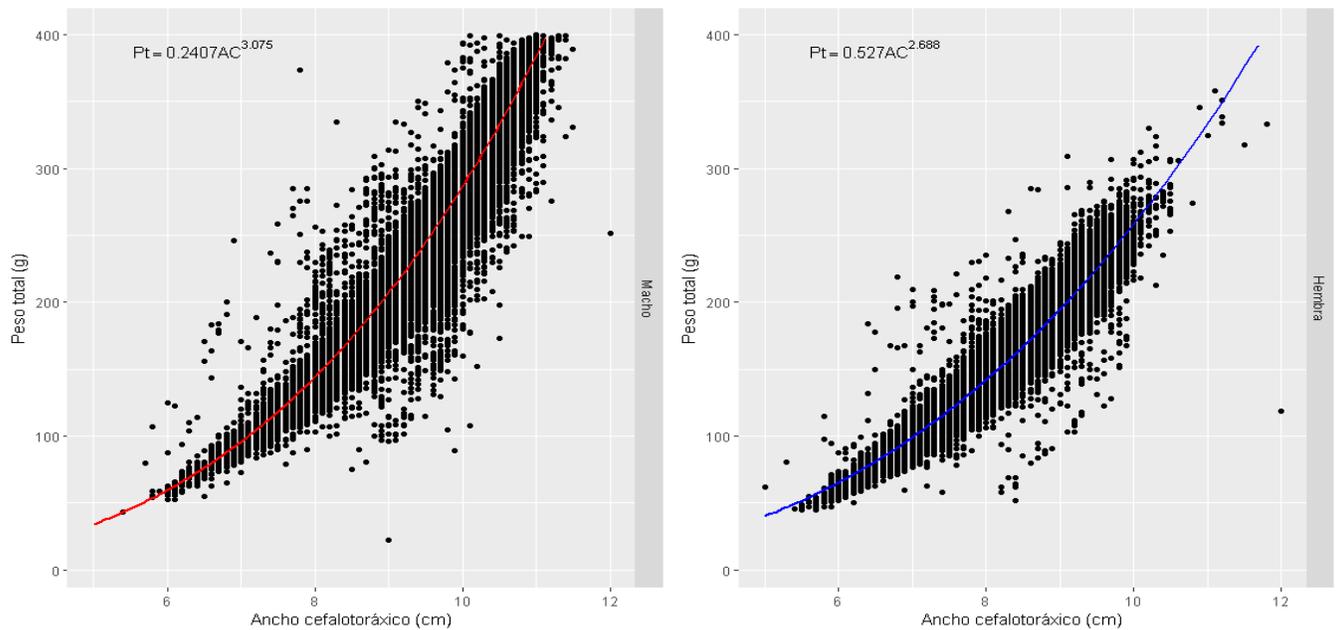


Figura 7: Relación entre el ancho del cefalotoráx (cm) y el peso total (g) de *O. trimaculatus*. A) Machos, B) hembras. En ambos gráficos se muestra la nube del total de datos obtenidos entre 2002 y 2014 junto con sus respectivas ecuaciones de ajustes al costado superior izquierdo.

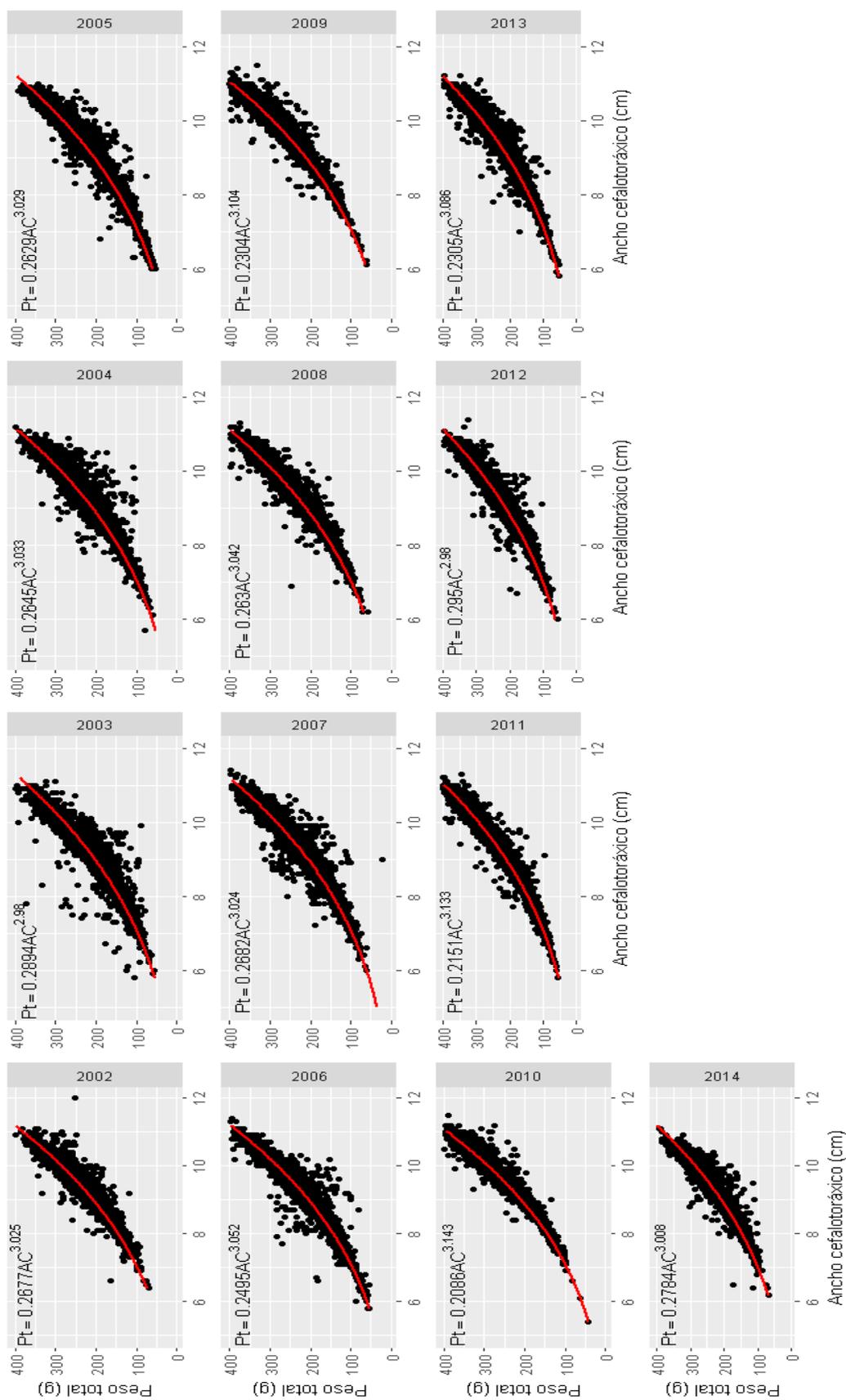


Figura 8: Relación entre el ancho del cefalotorax y el peso total para los machos de *O. trimaculatus*, desde el 2002 hasta el 2014.

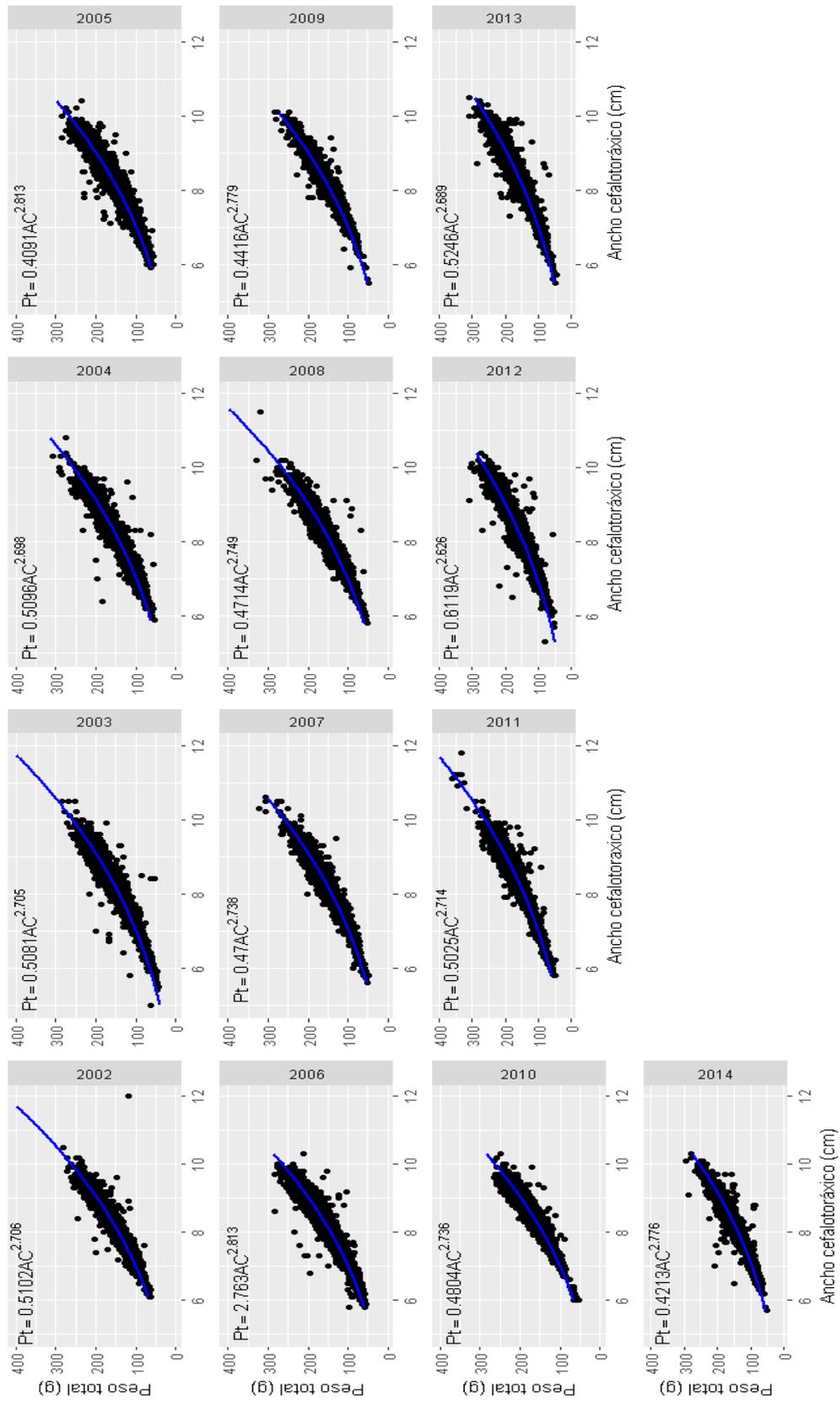


Figura 9: Relación entre el ancho del cefalotorax y el peso total para las hembras de *O. trimaculatus*, desde el 2002 hasta el 2014.

Para determinar si esta es una tendencia estable entre los años, se analizó la relación ancho cefalotorác/peso total para cada año de muestreo. En la Fig. 8 se muestra que los machos poseen un crecimiento alométrico positivo en la mayoría de los años, desde el 2004 hasta el 2013 el valor de b fue mayor a 3.00 con un $P < 0.05$ (ver anexo, Tabla 1). En cambio, para los años 2002, 2003, 2014 y 2015 el crecimiento fue isométrico debido que no se detectaron diferencias significativas ($b = 3$ y $p > 0.05$). En el caso de las hembras, estas mostraron un crecimiento alométrico negativo ($b < 3.00$ y $P < 0.05$, ver Anexo, Tabla 1) para todos los años (Fig. 9).

Para detectar cambios en el tiempo del tamaño de *O. trimaculatus*, se realizaron los análisis de largo frecuencia de las tallas a partir de la rutina ELEFAN usando modelos crecimientos de von Bertalanffy. El largo asintótico es un parámetro que indica el tamaño máximo que puede alcanzar una población con respecto al tiempo, considerando que el crecimiento disminuye con la edad de los individuos, por lo tanto, el incremento del tamaño será bajo o nulo a edades más longevas. En este caso se utilizará el termino ancho asintótico (AC^∞) el cual es más correcto en el estudio de crustáceos decápodos. Para observar el ajuste de los anchos asintóticos estimados se graficaron junto con estadísticos de tendencia central (moda, mediana, promedio, etc.), entre el año 2002 y 2014 tanto para machos y como para hembras.

Al costado izquierdo de la Fig. 10, el ancho asintótico estimado se encuentra más próximo del máximo que del mínimo en cuanto a su magnitud. A la derecha se observa como AC^∞ posee mayor magnitud que la moda, mediana y el promedio. La Fig. 11 muestra una situación similar con las hembras. No es trivial realizar esta comparación dado que la sobrestimación del ancho asintótico ocurre cuando se sobrepasa el ancho máximo de la

muestra (Pauly, 1987). Por lo tanto, se muestra de manera gráfica la consistencia del parámetro estimado.

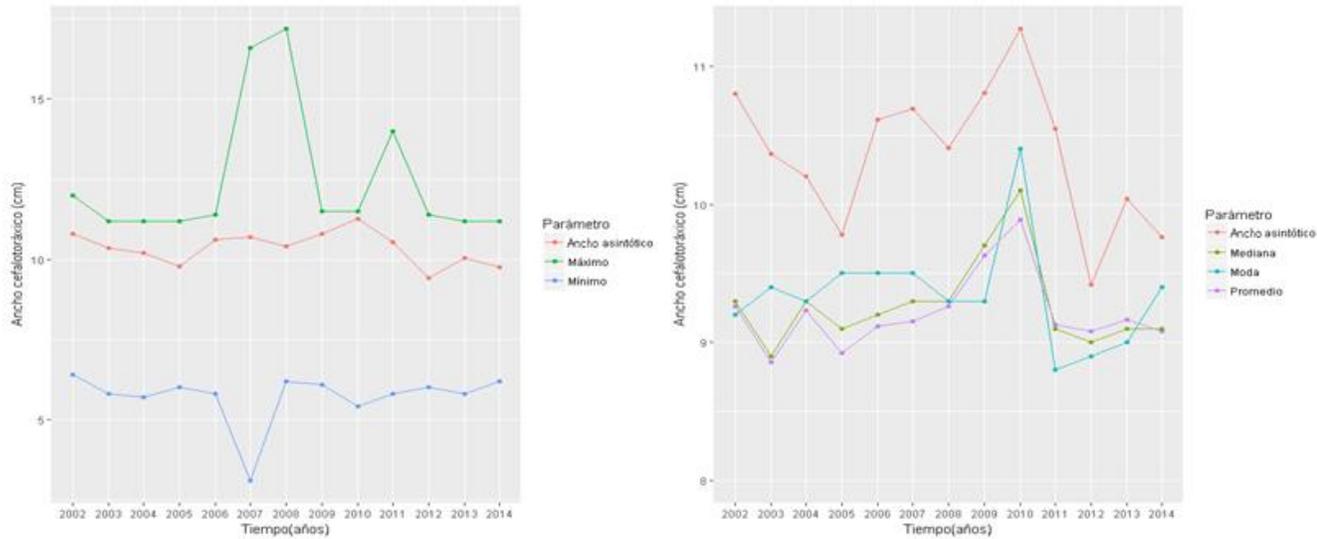


Figura 10: Comparación entre el ancho asintótico y estadísticos de descriptivos en hembras de *O. trimaculatus*.

El gráfico de la izquierda muestra el ancho asintótico junto con el máximo y mínimo de la muestra de datos; el gráfico de la derecha muestra el ancho asintótico junto con la mediana, moda y promedio.

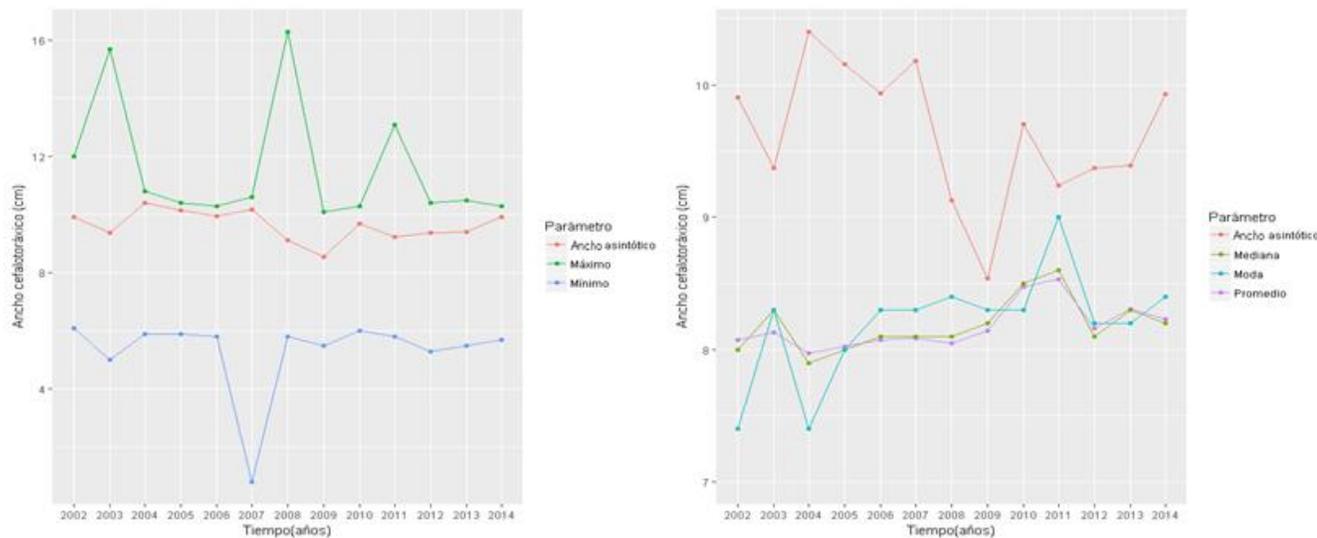


Figura 11: Comparación entre el ancho asintótico y estadísticos de descriptivos en los machos de *O. trimaculatus*. El gráfico de la izquierda muestra el ancho asintótico junto con el máximo y mínimo de la muestra de datos; el gráfico de la derecha muestra el ancho asintótico junto con la mediana, moda y promedio.

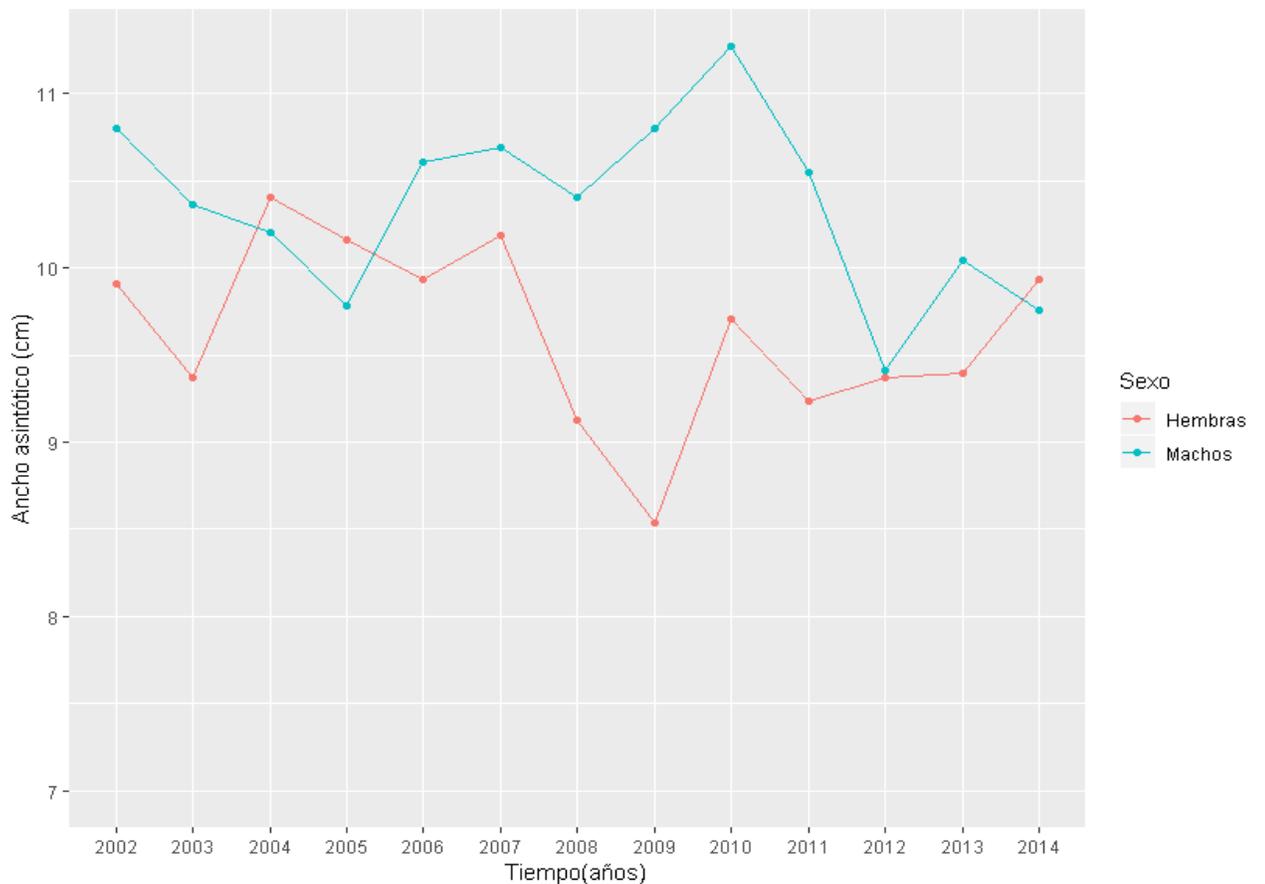


Figura 12: Ancho asintótico estimado (cm) del análisis ELEFAN en función del tiempo (años) de *O. trimaculatus*. La curva roja describe la variación del ancho asintótico de los machos y la curva azul describe a las hembras.

La Fig.12 muestra como varía el ancho asintótico (cm) en el tiempo tanto para machos (línea azul) como para hembras (línea roja). En machos se encontró que el ancho asintótico vario entre 9,416 cm y 11,27cm con una diferencia de 1,856 cm aproximadamente. En las hembras el ancho asintótico vario entre 8,540 cm y 10,40 cm con una diferencia de 1,863 cm aproximadamente. Sin embargo, la diferencia entre el año 2002 y el año 2015 fue de 0,37 cm para machos y 0.38 cm para hembras, lo que sugiere cierta estabilidad temporal en el ancho asintótico estimado para cada sexo.

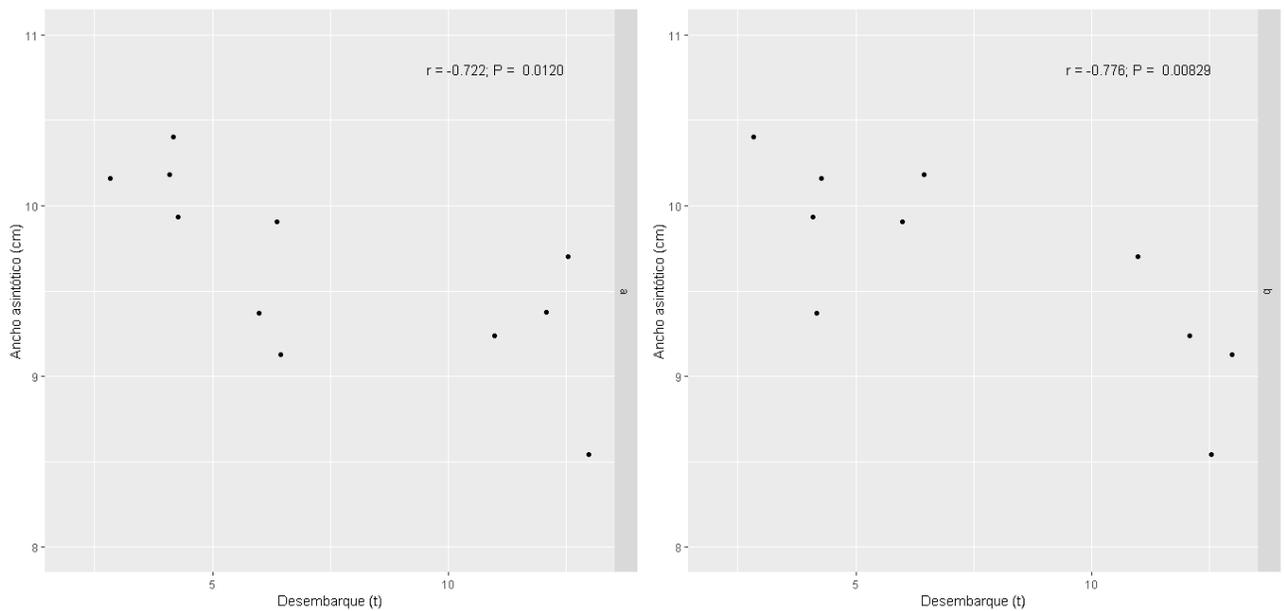


Figura 13: Correlación entre el ancho asintótico (cm) y el desembarque (ton) de las hembras de *O. trimaculatus*. a) corresponde a un desfase de dos años (Lag 2) y b) corresponde a un desfase de tres años (Lag 3).

Para tratar de explicar los cambios temporales del ancho asintótico de machos y hembras a través de los 13 años, se realizó un análisis temporal donde se correlacionaron los anchos asintóticos con factores pesqueros (desembarques medidos en toneladas) y factores ambientales como temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) y concentración clorofila-a ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$). También, se realizó este mismo análisis correlacionando los factores crecimiento con los factores ambientales y pesqueros ya mencionados. Para todos estos análisis se consideró realizar correlaciones utilizando retardos o *lags* los cuales podrían estar representando, por ejemplo, efectos de estas variables ambientales sobre los tamaños no necesariamente en el mismo año, sino en años posteriores.

Como ilustra la Fig.13, el ancho asintótico de las hembras se asoció negativa y significativamente con los desembarques para los lag 2 ($R = -0,722$; $P < 0.05$) como lag 3 ($R = -0,776$; $P < 0.05$), es decir, que la pesca podría afectar la disminución del tamaño de

las hembras a 2 y/o 3 años después desde la extracción. En los machos no se detectó una asociación significativa entre el esfuerzo de pesca y el ancho asintótico.

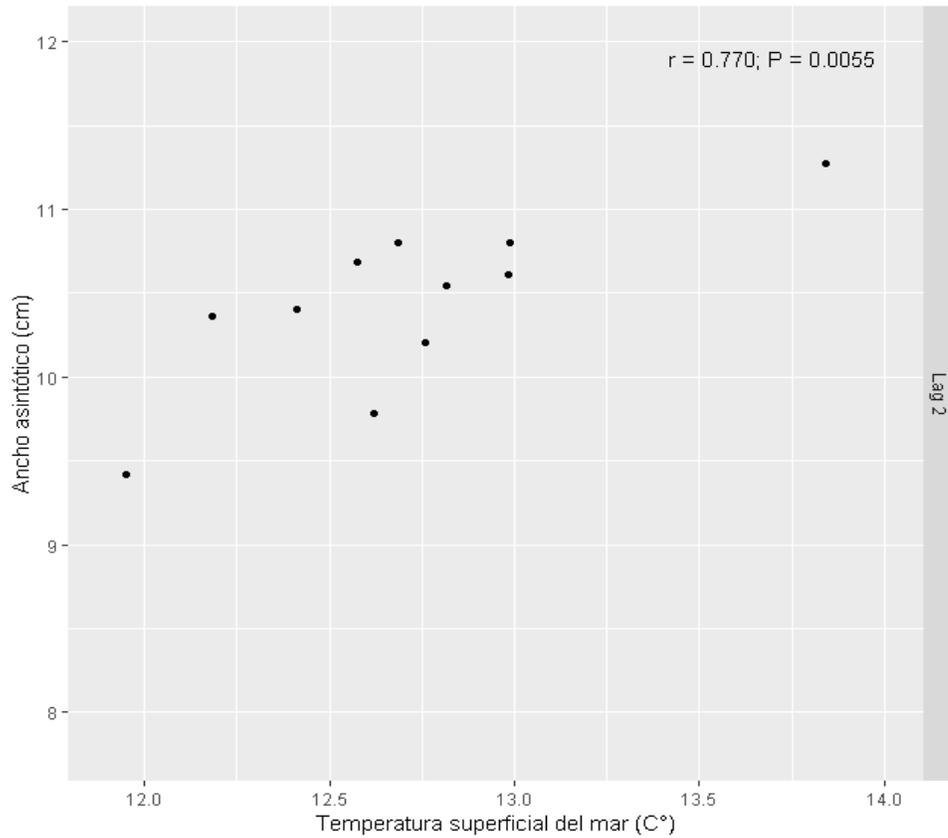


Figura 14: Análisis de correlación entre el ancho asintótico (cm) y la temperatura superficial del mar (°C) de los machos de *O. trimaculatus* con un desfase de dos años (Lag 2).

A su vez, se analizó el efecto de los factores ambientales en la variación del ancho asintótico en esta jaiba. En la Fig. 14 se muestra la correlación positiva que se genera al contrastar el ancho asintótico de los machos con la temperatura superficial del mar ($r = 0,770$; $P = 0,0055$) con un desfase de dos años (lag 2), es decir, el aumento de temperatura

podría incidir en un aumento del tamaño dos años después. Las hembras no presentaron una asociación significativa entre estas variables ($p > 0.05$).

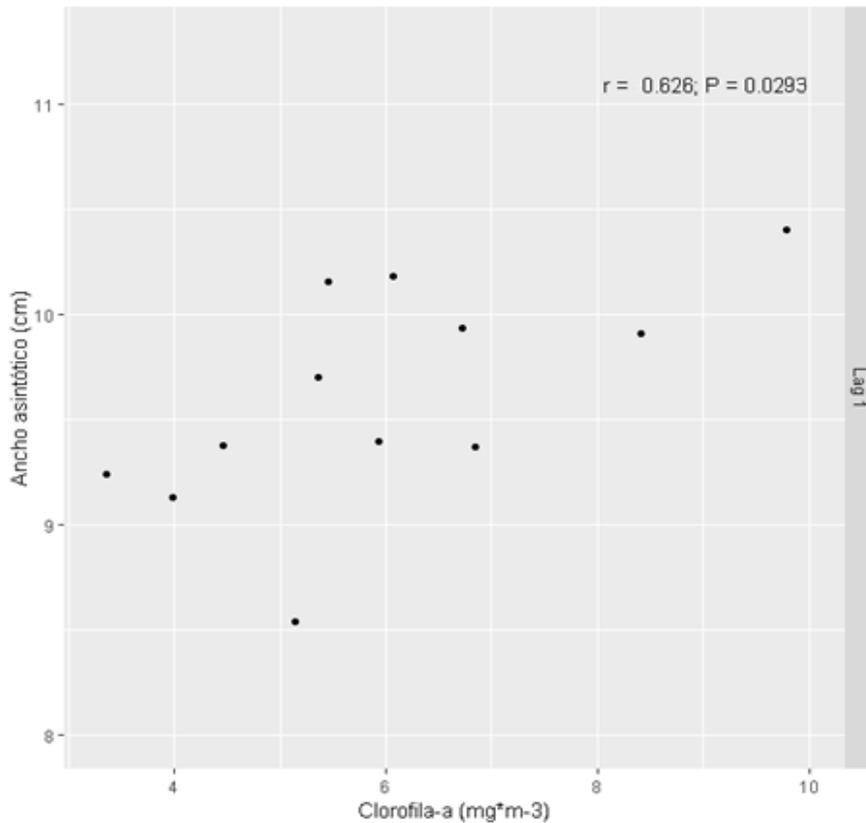


Figura 15: Análisis de correlación entre el ancho asintótico (cm) y la concentración de clorofila-a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) con desfase de 1 año (Lag 1) en las hembras de *O. trimaculatus*.

En la Fig. 15 se muestra que el nivel de clorofila-a presentó una correlación positiva con el ancho asintótico de las hembras de *O. trimaculatus* ($r = 0,626$; $P = 0,0293$) con un desfase de 1 año, vale decir, que las concentraciones de clorofila-a podrían influir en un incremento de los tamaños de las hembras de *O. trimaculatus* luego de 1 año transcurrido. Para mayor detalle, las Tablas 9, 10 y 11 del anexo contienen información sobre todas las correlaciones realizadas entre las variables ambientales y pesqueras con los ancho cefalotorácicos estimados.

Discusión

Contrario a lo observado en otras especies, el presente estudio ilustra que la jaiba remadora (*Ovalipes trimaculatus*) no ha reducido los tamaños por efecto de la pesca artesanal en un periodo de 13 años de extracción pesquera continua en la zona entre Chanco y Buchupereu. En el periodo estudiado, el ancho asintótico varió sin disminuir drásticamente año tras año. Es importante indicar que la pesquería ha afectado el tamaño de otras especies de crustaceos, como en la langosta de roca o *Panulirus cygnus* (Melville-Smith & Lestang, 2006; Linnane et al., 2010), los machos de *Callinectes sapidus* o jaiba azul (Abbe, 2002; Lipcius & Stockhausen, 2002) y *Paralithodes camtschatica* (Donaldson & Donaldson, 1992) a causa de incrementos sostenidos de la actividad pesquera en el tiempo. En el caso específico de *P. cygnus*, la pesquería ha disminuido en 25% el largo del cefalotórax en 35 años de estudio (ver Allendorf et al. 2008).

Sin embargo, la jaiba uca (*Ucides cordatus*) presenta un patrón similar al de *O. trimaculatus*. Diele (2000) estimó el L_{∞} para esta especie con un valor de 8,90 cm para los machos y 7,25 cm para las hembras. Posteriormente, Diele & Koch (2010) estimaron que los machos alcanzan un valor de 9,20 cm y las hembras 7,10 cm. Por lo tanto, esta comparación entre estudios sugiere que luego de 10 años el tamaño no ha disminuido para ambos sexos. Además, otro estudio del mismo autor mostró que sus tallas modales no variaron en 30 años de explotación pesquera artesanal (Diele et al., 2005). Por lo tanto, podría ser que no todas las especies se vean afectadas sus tamaños dada la presión pesquera artesanal.

Ahora bien, cabe preguntarse, ¿Qué fenómeno podría estar explicando estos cambios rápidamente reversibles en los tamaños de *Ovalipes trimaculatus*? Debido a que

no existe literatura publicada al respecto, nuestras conversaciones con expertos sugieren que estas especies de crustáceos poseen una gran cantidad de reclutas cada año, por lo que la pesca artesanal podría estar atenuando el canibalismo entre grupos intercohortes o entre adultos y juveniles o juveniles y reclutas, esto último caracteriza al grupo de los branchyuros decápodos (Kurihara & Okamoto 1987; Fernandez et al., 1993; Lovrich & Sainte-Marie, 1997; Moksnes et al., 1997; Moksnes et al., 1998; 2004; Luppi et al., 2001). Es decir, la remoción de individuos adultos otorgaría a reclutas y juveniles tempranos una mayor sobrevivencia y un mejor aprovechamiento de recursos disponibles. Sin embargo, para robustecer esta idea es necesario realizar más estudios que nos permitan evaluar con información empírica acerca de los efectos del canibalismo inter-cohorte considerando a la pesca artesanal como factor atenuante.

En este sentido, se propuso correlacionar los anchos asintóticos estimados con la pesca artesanal y variables ambientales para explorar tendencias que podrían explicar la variación de los tamaños a través del periodo de estudio. Aunque este análisis no permite realizar una relación causal entre las variables, si puede proporcionar una asociación entre ellas (Quiñones & Montes, 2001) y, posteriormente, se puede proponer hipótesis que permitan explicar de forma más precisa esa relación (Myers 1998).

A pesar de que no se registraron detrimentos en los tamaños estimados a largo plazo, la correlación entre el AC^∞ y los desembarques mostró una asociación negativa para las hembras dos y tres años después de la extracción. Es decir, los desembarques podrían afectar a la disminución de los tamaños luego de dos o tres años de la extracción (desde el año 2004 o 2005 respectivamente), los cuales se revierten cuando disminuye el esfuerzo de pesca. Otros estudios sugieren una disminución del tamaño relacionado con la pesquería sin un desfase anual. Esto se describió en la jaiba azul *Callinectes sapidus*;

Lipcius & Stockhausen (2002) mostraron que el promedio del ancho del cefalotorax para las hembras en 13 años de explotación (1988 a 2000) disminuyó de 14,4 cm a 13,5 cm.

Como se mencionó anteriormente, este fenómeno puede ser explicado por la disminución de la primera talla de madurez sexual a causa de la pesca y sus implicancias energéticas-reproductivas. En general se ha visto que la pesca ejerce un efecto en la aceleración de la talla de madurez sexual en peces (Tikhonov, 1977; Templeman & Bishop, 1979; Kenchington y Kenchington, 1993), en crustáceos como la jaiba azul (Lipcius & Stockhausen, 2002) y de manera experimental en crustáceos como *daphnia magna* (Edley & Law, 1988). Vanilla et al. (2014) describió rigurosamente la talla de madurez sexual de *O. trimaculatus* distinguiendo dos tipos de talla: la talla de madurez fisiológica, entendida como la capacidad de las gónadas de generar gametos, y la talla de madurez morfométrica, asociada con el desarrollo de caracteres secundarios. Las hembras de *O. trimaculatus* alcanzan antes la talla de madurez morfométrica (4,46 cm) que la fisiológica (5,46 cm). En el krill se ha visto que las hembra distribuyen más energía a la reproducción que los machos (Virtue et al., 1996). Asumiendo que el desarrollo de órganos reproductivos es energéticamente más costoso en hembras que en machos y existe una presión pesquera que remueve a los individuos adultos aumentando la frecuencia de la reproducción entre los individuos de menor tamaño o juveniles (Edley & Law, 1968; Fenberg & Roy, 2008), probablemente las hembras relocalizan la energía hacia la reproducción en vez del crecimiento individual por ende a la disminución de la tasa de crecimiento (Canales & Arana, 2009). Por lo tanto, el proceso de maduración ovárica podría poseer un desfase de dos años hasta que la ovogénesis se gatille.

Por otro lado, los machos de *O. trimaculatus* no presentaron una asociación significativa, por lo que los desembarques podrían no estar influyendo en la variación del

ancho del caparazón. En el mismo estudio, Vanilla et al. (2014) reporta que la talla de madurez fisiológica en machos (4,66 cm) es antes que la talla de madurez morfométrica (5,26 cm). Por lo tanto, si los machos no invierten tanta energía para la reproducción como las hembras y además alcanzan la madurez fisiológica antes que la morfométrica, probablemente destinen mayor cantidad de energía al crecimiento individual que en desarrollo gonadal. Entonces, los eventos de desembarque podrían no estar asociados a los tamaños de los machos de *O. trimaculatus*.

Dentro de la revisión bibliográfica no se encontró estudios que evaluaran el costo energético de la asignación de la energía para el desarrollo reproductivo en *O. trimaculatus* ni tampoco la influencia de la pesca artesanal en la talla de madurez sexual de esta especie más allá de una descripción de la misma talla de madurez como en Vanilla et al. (2014). Esto sugiere la importancia de investigar los efectos de la pesca sobre la talla de madurez sexual.

En cuanto al contraste del AC^∞ y la temperatura superficial del mar, los machos de *O. trimaculatus* presentaron una correlación positiva con un desfase de dos años (Lag 2), es decir, los efectos de la temperatura en el tamaño podrían observarse dos años después caracterizándose por una tendencia al aumento del ancho cefalotorácico. Stevens (1990) encontró que las bajas temperaturas ralentizan el crecimiento de los juveniles de *Paralithodes camtschatica*, lo que podría sugerir que el incremento de la temperatura favorecería el crecimiento de crustáceos bentónicos, como por ejemplo los juveniles de *Ovalipes trimaculatus*. Leffler (1972) en un estudio de laboratorio, reportó que *Callinectes sapidus* incrementa la tasa de crecimiento en base a aumentos de la temperatura (de 13°C a 34°C). Esto es consistente con lo que plantean Josileen & Menon (2005) sobre *Portunus pelagicus*, especie que varía su crecimiento asociado a las variaciones de la temperatura

superficial del mar en contraste a lo que sucede en ambientes con una temperatura uniforme.

En relación con la asociación positiva entre la concentración de clorofila-a y el ancho del cefalotorax en hembras de *O. trimaculatus*, esta se obtuvo luego de realizar un lag o desfase de 1 año. La clorofila es un indicador de biomasa de fitoplancton, la cual podría dar una aproximación de la cantidad de alimento disponible para las presas de esta especie durante su desarrollo larvario planctónico (Rodriguez et al., 2015). También el fenómeno de surgencia costera puede jugar un rol en los niveles de productividad y concentración de clorofila-a, variando la estructura de la columna de agua a través del ascenso de aguas subsuperficiales frías y ricas en nutrientes (Fonseca & Farias, 1987). Gonzalez et al. (2006) encontraron que en la bahía Mochima las zonas de surgencia proveían de mayor productividad primaria y niveles de clorofila-a que las zonas de menor surgencia, lo cual podría afectar la magnitud del efecto *bottom-up* en el ecosistema costero, es decir, el aumento de biomasa hasta los niveles tróficos superiores (i.e. depredadores topes) (Cury et al. 2003). Por lo tanto, para estudios posteriores esta variable podría incluirse en el análisis de variables ambientales.

Además, Mauer et al. (2017) propusieron que la densidad de presas juega un papel importante en la variación de la duración y cantidad de etapas de las zoeas de *Callinectes sapidus*. Los autores encontraron que las larvas de esta especie alimentadas con una alta densidad de presas disminuían el tiempo y la cantidad de fases de zoea a megalopa, en comparación a las larvas suministradas con una baja cantidad de presas. Por lo tanto, los investigadores proponen estudiar la comparación de los tamaños de las megalopas expuestas a alta abundancia de presas con las megalopas a baja abundancia, debido a que su experimento sugiere que las zoeas y megalopas que tengan una alta disponibilidad de

alimento, podrían ser de mayor tamaño que aquellas que carecen de presas, lo que podría influir en el aumento del tamaño en etapas posteriores hasta la etapa adulta.

También se caracterizó el tipo de crecimiento, alométrico o isométrico, en cada año de estudio para observar posibles variaciones bajo los periodos de pesca. Los machos presentaron crecimiento alométrico positivo y las hembras un crecimiento alométrico negativo, considerando todos los años de estudio. Según Froese (2006), el crecimiento alométrico positivo indica que los individuos tienden a ser más robustos en edades tempranas, mientras que el crecimiento alométrico negativo indica que los individuos son más alargados en edades tardías perdiendo robustez. En otras palabras, los machos de *O. trimaculatus* tienden a ser más anchos a medida que crecen y las hembras tienen la tendencia opuesta. En el proceso de muda, los machos de *Portunus pelagicus* incrementan de manera acentuada a su peso, probablemente, por el crecimiento de estructuras reproductivas como la quela (Josileen & Menon, 2005). Además, en otros trabajos (Hancock & Edwards 1967; Bennett, 1973) reportan un fenómeno similar donde el gran tamaño de la quela en los machos de *Cancer pagurus* podría estar explicando la diferencia del peso entre machos y hembras a un mismo ancho de caparazón, por lo tanto, los machos de *O. trimaculatus* también podrían estar siguiendo este patrón. Por otro lado, el patrón de crecimiento en las hembras podría estar asociado a la reserva de energía para procesos reproductivos en vez de utilizar dicha energía en procesos de crecimiento, lo que resulta que las hembras sean menores en talla que los machos a una misma edad (Argumedo, 2012). Similares resultados fueron descritos para *la O. trimaculatus* en Argentina por Fenucci & Boschi (1975), detectando alometría para los machos y un crecimiento simétrico en las hembras.

Ahora bien, se detectó además cambios en la alometría del crecimiento de los machos de *Ovalipes trimaculatus* cuando se analizó los años por separado. En particular, los años 2002, 2003, 2012 y 2014, el crecimiento en machos mostró una tendencia a una isometría. No tenemos una explicación clara en estos cambios de la alometría entre los años y no encontramos otros estudios que hayan encontrado patrones similares. Una posible respuesta podría estar en que la variación en el tamaño de estructuras reproductivas como la quela podrían ser un factor preponderante en la alometría de los machos de esta especie, visto también en otros estudios (Hancock & Edwards, 1967; Bennett, 1973).

Cabe destacar las limitaciones del presente estudio. Los crustáceos poseen un crecimiento discontinuo, es decir, el proceso de muda sigue un patrón escalonado (Bunnell & Miller, 2005; Chang et al., 2012) en donde el desprendimiento del exosqueleto permite el crecimiento del crustáceo (ecdysis) (Alvarez et al., 2009). Luego del desprendimiento, ocurre un periodo intermuda en donde el organismo no vuelve a incrementar su tamaño (Hartnoll, 1983). Entonces, probablemente un modelo como el de von Bertalanffy que asume un crecimiento continuo (no hay pausas en el crecimiento) de los organismos no sea tan apropiado, debido a que no considera el patrón discontinuo del crecimiento en crustáceos derivado de la muda. Aunque el modelo de Somer (1988) utilizado en nuestro estudio incorpora el efecto estacional, tampoco considera variables ambientales como la temperatura que es un factor importante en el proceso de muda (Brylawski & Miller, 2006).

Sin embargo, Rothschild et al. (1992) consideraron dos alternativas para describir el crecimiento de las jaibas durante su vida. La primera utiliza un criterio continuo como el de von Bertalanffy y la segunda un criterio discontinuo incorporando el crecimiento por muda y datos de cada intermuda. Este estudio procedió de manera similar al de Rosas-Correa &

Jesus-Navarrete (2008), donde al carecer de datos de intermudas, se utilizó un modelo continuo para la estimación de los parámetros de crecimiento. Pauly (1987) advierte que los AC^∞ estimados no deben ser mayores al ancho cefalotorácico máximo de la muestra, dado que eso indica una sobrestimación del parámetro de crecimiento. En este estudio, tanto para machos como para hembras, los anchos asintóticos estimados carecieron de sobrestimación para cada año de estudio. Por otro lado, los estudios que consideran los datos de intermuda generalmente pretenden representar el crecimiento de los individuos bajo condiciones controladas como el cultivo en laboratorio o cautiverio. Sin embargo, la extrapolación de estos resultados hacia lo que ocurre en el medio ambiente no suele ser tan precisa. Una comparación realizada en la especie *Cyrtograpsus angulatus*, se estimó que el largo del caparazón ($L_c = 2,93$ cm) se alcanzó en el doble de tiempo en condiciones de cautiverio que en su ambiente natural (Petriella & Boschi, 1997). Incluso los autores que estimaron el tiempo del ciclo de muda a partir de la distinción de fases en la morfología externa en *O. trimaculatus*, sugieren que en el medio ambiente puede ser más extenso que al estimado en condiciones de laboratorio (Alvarez et al., 2009).

Por lo tanto, una de las proyecciones del estudio es el contraste entre modelos de crecimiento que no contengan variables ambientales como la temperatura y/o el proceso de muda con los que si consideran dichos factores (Chang et al., 2012). Entonces, basados en criterios de la información se podrían escoger los modelos más parsimoniosos y con mayor poder explicativo en vez de utilizar uno solo tal como lo propone Katsanevakis (2006).

Finalmente, esta investigación contribuye con antecedentes exploratorios al conocimiento de la influencia de la pesca artesanal y las variables ambientales sobre los tamaños en especies de interés comercial como *Ovalipes trimaculatus*. Probablemente, otros grupos taxonómicos sean más sensibles a ser afectados por la pesca artesanal, por

lo tanto, la evaluación preliminar de rasgos morfométricos en distintas especies comerciales podría contribuir a la construcción de una visión general de la pesca artesanal en Chile. Este enfoque permitiría la detección de casos críticos o vulnerables, la profundización del estudio en dichos casos y, posteriormente, la generación de medidas de manejo que permitan solventar los efectos negativos de la pesca sobre las especies de manera sustentable, es decir, que nuestro desarrollo que busca satisfacer las necesidades humanas no implique destrucción de los recursos naturales y los procesos biológicos (Goñi & Goin, 2004).

Conclusión

La extracción pesquera artesanal en las costas de la Región del Maule pareciera no influir a largo plazo en los tamaños de *Ovalipes trimaculatus* como se ha observado en otros grupos taxonómicos. En efecto, la variación anual de los anchos asintóticos no desembocó en una disminución de la talla en los 13 años de explotación estudiados (2002-2014), tanto para machos como para hembras. Sin embargo, el esfuerzo de pesca podría influir negativamente en los tamaños dos años más tarde (Lag 2), al igual que la temperatura superficial del mar, aunque esta última favorecería el incremento de los tamaños. La clorofila-a también podría tener un efecto positivo en los tamaños considerando el desfase de un año (Lag 1). Por lo tanto, la relevancia del estudio fue detectar estas asociaciones permitiendo la exploración de los efectos del esfuerzo de pesca y las variables ambientales en los tamaños de *O. trimaculatus*. En otras palabras, investigaciones posteriores pueden estar motivadas en profundizar los mecanismos causales que modulan estas asociaciones descritas (o a proponer otras totalmente diferentes), como también seguir construyendo conocimiento a partir de la evaluación en otras especies comerciales y amenazadas por la actividad pesquera.

Bibliografía

Abbe, G.R. 2002. Decline in size of male blue crabs (*Callinectes sapidus*) from 1968 to 2000 near Calvert Cliffs, Maryland. *Estuaries*, 25(1), 105–114.

Aedo, G., Retamal, M., Suarez, C., Montecinos, S., Gacitua, S., Pedraz, M., Arana, P. 2009. Estado actual del conocimiento de las principales especies de jaibas a nivel nacional. Proyecto del fondo de investigación pesquera N° 2007-39.

Afzaal, Z., Kalhor, M. A., Buzdar, M. A., Tariq, S., Shafi, M., Nadeem, A., Haroon, A. 2018. Carapace length-weight and carapace width-weight relationship of *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) in Pakistani waters northern Arabian Sea. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 47(04), 890-896.

Aguilar, O. 2015. Efecto de la pesca sobre el ciclo reproductivo del cangrejo moro (*Menippe mercenaria*) en el Golfo de Batabanó. Centro de Investigación Marina de la Habana (CIMH), Cuba.

Allendorf, F.W., England, P.R., Luikart, G., Ritchie, P.A., Ryman, N. 2008. Genetic effects of harvest on wild animal populations. *Trends in Ecology and Evolution*, 23, 327-37.

Alvarez, S. 2014. Balance energético para diferentes tallas de *Cancer (Metacarcinus) edwardsii* (Bell, 1835) (Decapoda: Brachyura: Cancridae) alimentada con distintos tamaños de *Mytilus chilensis* (Hupe, 1854). Escuela de Acuicultura y Pesquería, Universidad Austral de Chile.

Alvarez, J., Véliz, C., Meruane, J. 2009. Estados del ciclo de muda de la jaiba nadadora *Ovalipes trimaculatus* (de Haan, 1833) basados en observaciones de la morfología externa. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(1), 217–225.

- Araujo, M. de S. L. C., Lira, J. J. P. R. 2012. Condition factor and carapace width versus wet weight relationship in the swimming crab *Callinectes danae* Smith 1869 (Decapoda: Portunidae) at the Santa Cruz Channel, Pernambuco. *Nauplius*, 20(1), 41–50.
- Arnaud, P., Beurois, J., Noel, P. 1972. Portunidae et Grapsidae des Îles Saint Paul et Amsterdam, Ocean Indean (Decapoda, Brachyura). *Beaufortia*, 20, 7–14
- Argumedo G., E. 2012. Indicadores biológicos, poblacionales y pesqueros del “cangrejo peludo” *Cancer setosus* (Molina 1782) en el área del Callao, durante el periodo 2006 -2008. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Báez, P., Arata, J., Jackson, D. 2004. El loco *Concholepas concholepas* (Bruguière, 1789) (Mollusca: Gastropoda: Muricidae) como recurso durante el Holoceno Temprano-Medio en Los Vilos, Chile central. *Investigaciones Marinas, Valparaíso*, 32(1), 107-113.
- Baith, K., Lindsay, R., Fu, G, McClain, C.R. 2001. SeaDAS, a data analysis system for ocean-color satellite sensors. *EOS Trans. AGU*, 82, 202.
- Bennett, D. B. 1973. The effect of limbloss and regeneration on growth of the edible crab, *Cancer pagurus* Linnaeus, 1758. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 13: 45-53.
- Boschi, E. E., Fischbach, C.E., Iorio, M. I. 1992. Catálogo ilustrado de los crustáceos estomatópodos y decápodos marinos de Argentina. *Frente Marítimo*, 10, 7–94.
- Brylawski, B.J., Miller, T.J. 2006. Temperature-dependent growth of the blue crab. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 63, 1298–1308.

- Bunnell, D.B., Miller, T.J. 2005. An individual-based modeling approach to spawning-potential per-recruit models : an application to blue crab (*Callinectes sapidus*) in Chesapeake Bay. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62(11), 2560–2572.
- Campbell, A., Eagles, M.D. 1983. Size at maturity and fecundity of rock crabs, *Cancer irroratus*, from the Bay of Fundy and southwestern Nova Scotia. *Fishery Bulletin*, 81, 357-362.
- Chang, Y.J., Sun, C.L., Chen, Y., Yeh, S.Z. 2012. Modelling the growth of crustacean species. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 22(1), 157–187.
- Canales C., Arana, P. M. 2009. Crecimiento, mortalidad y evaluación de la población de cangrejo dorado (*Chaceon chilensis*) explotado en el archipiélago de Juan Fernández, Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 37(3): 313-326.
- Cubillos, L. A., Arcos, D. F., Bucarey, D. A., Canales, M. T. 2001. Seasonal growth of small pelagic fish off Talcahuano, Chile: A consequence of their reproductive strategy to seasonal upwelling? *Aquatic Living Resources*, 14(2), 115–124.
- Cury, P., Lynne, Sh., Yunne-Jai, Sh. 2003. The Functioning of Marine Ecosystems: a Fisheries Perspective in *Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem*, Edit FAO.
- Dash, G., Dash, S. S., Koya, M., Sreenath, K. R., Mojjada, S. K., Zala, M. S., Pradeep, S. 2013. Fishery and stock assessment of the three-spot swimming crab *Portunus sanguinolentus* (Herbst, 1783) off Veraval, Gujarat. *Indian Journal of Fisheries*, 60(4), 17-25.
- De la Hoz, J. 2018. Relación longitud peso en peces. Url: https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/366409_95783282afc44aa0b0453a031666e2d8.html.

- Diele K. 2000. Life history and population structure of the exploited mangrove crab *Ucides cordatus cordatus* (Linnaeus, 1763) (Decapoda: Brachyura) in the Caeté Estuary, North Brazil [PhD thesis]. Bremen: University of Bremen;116.
- Diele, K., Koch, V., Saint-Paul, U. 2005. Population structure, catch composition and CPUE of the artisanally harvested mangrove crab *Ucides cordatus* (Ocypodidae) in the Caeté estuary, North Brazil: Indications for overfishing? *Aquatic Living Resources*, 18(2), 169-178.
- Diele, K., Koch, V. 2010. Growth and mortality of the exploited mangrove crab *Ucides cordatus* (Ucididae) in N-Brazil. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 395,171–180.
- Donaldson, W. E., Donaldson, W. K. 1992. A review of the history and justification for size limits in Alaskan king, Tanner, and snow crab fisheries. *Fishery Research Bulletin*, 92(2), 1–33.
- Fonseca, T., Farias, M. 1987. Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota. *Investigación Pesquera (Chile)*. 34: 33-46.
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4), 241-253.
- Fenberg, P. B., Roy K. 2008. Ecological and evolutionary consequences of size-selective harvesting: how much do we know? *Molecular Ecology*, 17, 209–220.
- Fenucci, J. L., Boschi, E. E. 1975. Contribución al conocimiento biológico del cangrejo comercial de las aguas costeras de la provincia de Buenos Aires *Ovalipes trimaculatus* (De Haan) (Crustacea, Decapoda, Portunidae). *Physis*, 34(89), 291-308.

- Green, B.S., Fisher, R., 2004. Temperature influences swimming speed, growth and larval duration in coral reef fish larvae. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 299 (1), 115–132.
- Goñi, R., Goin, F. 2004. Los indicadores del desarrollo sustentable. Definición de un modelo para la Argentina. Buenos Aires: Consejo Federal de Inversiones.
- Gonzalez, F., Zoppi de Roa, E., Montiel, E. 2006. Productividad primaria del fitoplancton en la bahía de Mochima, Venezuela. *Invest. Mar., Valparaíso*, 34(2): 37-45.
- Hancock, D. A., Edwards, E. 1967. Estimation of annual growth in the edible crab (*Cancer pagurus* Linnaeus, 1758). *ICES Journal of Marine Science*, 31(2), 246-264.
- Hakanson, L., Bryhn, A.C., Hytteborn, J.K. 2007. On the issue of limiting nutrient and predictions of cyanobacteria in aquatic systems. *Science of the Total Environment*, 379 (1), 89–108
- Hernández, L., & Arreola-Lizárraga, J. A. 2007. Estructura de tallas y crecimiento de los cangrejos *Callinectes arcuatus* y *C. bellicosus* (Decapoda: Portunidae) en la laguna costera Las Guásimas, México. *Revista de Biología Tropical*, 55, 225–233.
- Hines, A.H., Johnson, E.G., Darnell, M.Z., Rittschof, D., Miller, T.J., Bauer, L.J., Rodgers, L.J., Aguilar, R. 2010. Predicting Effects of Climate Change on Blue Crabs in Chesapeake Bay. In: Kruse, G.H., Eckert, G.L., Foy, R.J., Lipcius, R.N., Sainte-Marie, B., Stram, D.L. and Woodby D.(eds.), *Biology and Management of Exploited Crab Populations under Climate Change*. Alaska Sea Grant, University of Alaska Fairbanks.
- Hirose, G.L., Souza, L.S., Silva, S.L.R., Alves, D.F.R., Negreiros, F.M.L., 2015. Population structure of the red mangrove crab, *Goniopsis cruentata* (Decapoda: Grapsidae) under

different fishery impacts: Implications for resource management. *Revista de Biología Tropical*, 63(2), 443-457.

Josileen, J., Menon, N. G. 2005. Growth of the blue swimmer crab, *portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) (Decapoda, Branchyura) in captivity. *Crustaceana*, 78(1), 1-18.

Kenchington, T.J., Kenchington, E.L.R. 1993. An eighteenth-century commercial length-frequency sample of Atlantic cod, *Gadus morhua*, based on archaeological data. *Fisheries Research*, 18, 335–347.

Kurihara, Y., Okamoto, K. 1987. Cannibalism in a grapsid crab, *Hemigrapsus penicillatus*. *Marine Ecology Progress Series*. Oldendorf, 41(2): 123-127.

Leffler, C. W. 1972. Some effects of temperature on the growth and metabolic rate of juvenile blue crabs, *Callinectes sapidus*, in the laboratory. *Marine Biology*, 14, 104-111.

Ley N° 18892. *Diario Oficial de la República de Chile*, Santiago, Chile, 23 de diciembre de 1989.

Linnane, A., Sloan, S., McGarvey, R., Ward, T. 2010. Impacts of unconstrained effort: Lessons from a rock lobster (*Jasus edwardsii*) fishery decline in the northern zone management region of South Australia. *Marine Policy*, 34(5), 844–850.

Lipcius, R. N., Stockhausen, W. T. 2002. Concurrent decline of the spawning stock, recruitment, larval abundance, and size of the blue crab *Callinectes sapidus* in Chesapeake Bay. *Marine Ecology Progress Series*, 226, 45–61.

Lovrich, G. A., Saint-Marie, B. 1997. Cannibalism in the snow crab, *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius) (Branchyura: Majidae), and its potential importance to recruitment *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 211, 225-245.

- Luppi, T. A., Spivak, E. D., Anger, K. 2001. Experimental studies on predation and cannibalism of the settlers of *Chasmagnathus granulata* and *Cyrtograpsus angulatus* (Brachyura: Grapsidae) *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 265, 29-48.
- Maurer, L., Liang, D., Chung, J. S. 2017. Effects of prey densities and dietary supplementation on the larval development of the blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Brachyura: Portunidae). *Crustacean Biology*, 37, 674–682.
- Meekan, M.G., Carleton, J.H., McKinnon, A.D., Flynn, K., Furnas, M. 2003. What determines the growth of tropical reef fish larvae in the plankton: food or temperature? *Marine Ecology Progress Series*, 256, 193–204.
- Melville-Smith, R., de Lestang, S. 2006. Spatial and temporal variation in the size of maturity of the western rock lobster *Panulirus cygnus* George. *Marine Biology*, 150, 183–195.
- Melo GAS (1996) Manual de identificação dos Brachyura (caranguejos e siris) do litoral brasileiro. Pleiadi, São Paulo.
- Mildenberger, T. K., Taylor, M. H., Wolff, M., 2017. TropFishR: an R package for fisheries analysis with length-frequency data. *Methods in Ecology and Evolution*, 8, 1520-1527.
- Moksnes, P. O. 2004. Self-regulating mechanisms in cannibalistic populations of juvenile shore crabs *Carcinus maenas*. *Ecology*, 85,1343-1354.
- Moksnes, P. O., Lipcius, R. N., Pihl, L., van Montfrans, J. 1997. Cannibal-prey dynamics in young juveniles and postlarvae of the blue crab. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 215, 157- 187.
- Moksnes, P. O., Pihl, L., van Montfrans, J. 1998. Predation on postlarvae and juveniles of the shore crab *Carcinus maenas*: importance of shelter, size and cannibalism. *Marine Ecology Progress Series*, 166, 211-225.

- Morales, M., González, L. W. 2009. Edad y crecimiento del chere-chere *Haemulon steindachnerii* (Perciformis: Haemulidae) en el suroeste de la isla de Margarita, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 58(1), 299–310.
- Munro, J.L, Pauly, D. 1983. A simple method for comparing the growth of fishes and invertebrates. *Fishbyte*, 1(1), 5-6.
- Nakamura, I.T., Inada, M., Takeda, Y. Hatanaka, H. 1986. Important fishes trawled off Patagonia. Japan Marine Fishery Resource Research Center, Tokyo.
- Narváez B., Herrera P., Blanco R. 2008. Efecto de los artes de pesca sobre el tamaño de los peces en una pesquería artesanal del caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 37 (2), 163-187.
- Narvarte, M., González, R., Osovníkar, P., Camarero, M., Curtolo, L., Reinaldo, M. O. 2007. Experimental trap fishery for the crabs *Platyxanthus patagonicus* and *Ovalipes trimaculatus* in the San Matias Gulf, Patagonia, Argentina. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87(5), 1235-1242.
- Ocean Biology Processing Group (OBPG). 2015. MODIS Aqua Level 3 Global Monthly Mapped 4 km Chlorophyll a v2014.0. Ver. 2014.0. PO.DAAC, CA, USA.
- Ocean Biology Processing Group (OBPG). 2015. MODIS Aqua Level 3 SST Thermal IR Annual 4km Daytime v2014.0. Ver. 2014.0. PO.DAAC, CA, USA.
- Ogle, D.H. 2015. *Introductory Fisheries Analyses with R*. Chapman & Hall/CRC.
- Olaya-Restrepo, J., Erzini, K., González-Wangüemert. 2017. Estimation of growth parameters for the exploited sea cucumber *Holothuria arguinensis* from South Portugal. *Fisheries Bulletin*, 116, 1–9.

Olguín, A., Rosas, Y., Lopéz, J., Riveros, M., Pardo, M., Yañez, A., Ibarra, M., Canales, C. 2017. INFORME FINAL: Actualización de parámetros biológico-pesqueros de jaibas en la zona centro sur de Chile. FIPA 2015-39.

Palma F., Cambiaso G., Pérez P., Palacios C. 2015. La pesca artesanal en Chile. Revista Mar, 2, 24-27.

Pauly, D. 1987. A review of the ELEFAN system for analysis the length-frequency in fish and aquatic invertebrates, 7-34.

Petriella, A. M., Boschi, E. E. 1997. Crecimiento en crustáceos decápodos: resultados de investigaciones realizadas en Argentina. Investigaciones Marinas, 25, 135–157.

R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

Ricker, W.E., Bilton, H.T., Aro, K.V. 1978. Causes of decrease in size of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). Fisheries and Marine Service Technical Report 820: 1–93.

Retamal, M., & Arana, P. M. 2000. Descripción y distribución de cinco crustáceos decápodos recolectados en aguas profundas en torno a las islas Robinson Crusoe y Santa Clara (Archipiélago de Juan Fernández, Chile). Investigaciones Marina 28, 149–163.

Rodríguez F., Cisneros, M. Á., & Aragón-Noriega, E. A. 2015. Variability of size at maturity of the warrior swimming crab, *Callinectes bellicosus* (Stimpson, 1859) (Brachyura, Portunidae), along a latitudinal gradient in the Gulf of California. Crustaceana, 88(9), 979-989.

Rosas-Correa, C.O., Jesús-Navarrete, A de. 2008. Parámetros poblacionales de la jaiba azul *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) en la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 43(2), 247-253.

Schoeman, D. S. & A. C. Cockcroft. 1996. A description of *Ovalipes trimaculatus* (De Haan, 1833) (Brachyura: Portunidae: Polybiinae) zoeae reared in the laboratory, *South African Journal of Marine Science*, 17:1, 113-134.

Smith, B. D. Jamieson, G. J. 1991. Influence of spawning and other stream habitat features on spatial variability of wild Brown Trout. *Transactions of the American Fisheries Society*, 120(7), 711–722.

Somer, I.F. 1988. On a seasonally oscillating growth function. *Fishbyte*, 6(1), 8-11.

Sponaugle, S., Grorud-Colvert, K. 2006. Environmental variability, early life-history traits, and survival of new coral reef fish recruits. *Integrative and Comparative Biology*, 46(5), 623–633.

SERNAPESCA. 2012. Anuario estadístico 2002-2012. www.sernapesca.cl/informes/estadisticas.

SERNAPESCA. 2016. Listado de especies en explotación. www.sernapesca.cl.

SERNAPESCA. 2017. Anuario estadístico 2007-2017. www.sernapesca.cl/informes/estadisticas.

SERNAPESCA. 2018. Información online: www.sernapesca.cl/area-trabajo/pesca-artesanal.

- Stevens, B.G., 1990. Temperature-dependent growth of juvenile red king crab (*Paralithodes camtschatica*), and its effects on size-at-age and subsequent recruitment in the eastern Bering Sea. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47, 1307–1317.
- Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA). 2012. Veda extractiva del recurso Loco 2012-2017, regiones XV a XI. Informe Técnico (R. Pesq) N° 015-2012.
- Taylor, M. H., & Mildenberger, T. K., 2017. Extending electronic length frequency analysis in R. *Fisheries Management and Ecology*, 24, 330-338.
- Templeman, W., Bishop, C.A. 1979. Sexual maturity and spawning in haddock *Melanogrammus aeglefinus* of St Pierre Bank. *ICNAF Research Bulletin* 14: 77–83.
- Tikhonov, V.I. 1977. Changes in fecundity and maturation of the yellowfin sole. *Biol. Moriya*3: 64–69.
- Vallina, M., Moyano, P. S., M., Cuartas, E. I., & Gavio, M. A. 2014. Reproductive system and size maturity of the paddle crab *ovalipes trimaculatus* (brachyura: Portunidae) along the argentine coast. *Journal of Crustacean Biology*, 34(3), 357–366.
- Vásquez, J. A., Camus, P. A., & Patricio, F. 1998. Diversidad, estructura y funcionamiento de ecosistemas costeros rocosos del norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 71, 479-499.
- Virtue, P., Nichols, P. D., Nicol, S., Hosie, G. 1996. Reproductive trade-off in male Antarctic krill, *Euphausia superba*. 1996. *Marine Biology*, 126: 521-527.
- Wickham, H. 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
- Zeileis, A. & Grothendieck, G. 2005. zoo: S3 Infrastructure for Regular and Irregular Time Series. *Journal of Statistical Software*, 14(6), 1–27.

Anexo

Tabla 4: Estimación de coeficientes de alometría para los machos y hembras de *O. trimaculatus* para los años 2002 y 2014. Encabezado: P1: p-value de la prueba de alometría; R²: coeficiente de determinación, a: coeficiente alométrico, b: coeficiente de crecimiento, T = total de años de estudio.

Machos					Hembras				
Año	a	b	P1	R ²	Año	a	b	P1	R ²
T	0,2407	3,0746	<0,0001	0,9413	T	0,5269	2,6884	<0,0001	0,8920
2002	0,2677	3,0257	0,08775	0,9119	2002	0,5102	2,7060	<0,0001	0,9030
2003	0,2894	2,9804	0,05858	0,9199	2003	0,5081	2,7046	<0,0001	0,8983
2004	0,2645	3,0325	<0,0001	0,9127	2004	0,5096	2,6978	<0,0001	0,9036
2005	0,2629	3,0285	<0,0001	0,9541	2005	0,4091	2,8129	<0,0001	0,8937
2006	0,2495	3,0516	<0,0001	0,9381	2006	0,4531	2,7627	<0,0001	0,9033
2007	0,2682	3,0243	<0,0001	0,9308	2007	0,4700	2,7380	<0,0001	0,7599
2008	0,2630	3,0418	<0,0001	0,936	2008	0,4714	2,7488	<0,0001	0,9053
2009	0,2304	3,1038	<0,0001	0,9503	2009	0,4416	2,7786	<0,0001	0,8995
2010	0,2086	3,1431	<0,0001	0,9473	2010	0,4805	2,7356	<0,0001	0,8873
2011	0,2151	3,1327	<0,0001	0,9682	2011	0,5025	2,7141	<0,0001	0,9220
2012	0,2950	2,9899	0,2549	0,9369	2012	0,6119	2,6263	<0,0001	0,9026
2013	0,2305	3,0862	<0,0001	0,951	2013	0,5246	2,6886	<0,0001	0,8779
2014	0,2784	3,0084	0,4113	0,9295	2014	0,4213	2,7760	<0,0001	0,9192

Tabla 5: Estimación interanual de estadísticos descriptivos y de dispersión del ancho cefalotorácico de los machos de *O. trimaculatus* desde el año 2002 hasta el año 2014. Encabezado: Max(máximo), Min(mínimo), DS (desviación estándar), CV (coeficiente de variación), N (número de individuos).

Año	Min(cm)	Max(cm)	Promedio(cm)	Mediana(cm)	Moda(cm)	DS	Varianza	CV	N
2002	6,40	12,00	9,26	9,30	9,20	0,71	0,50	0,08	3.895
2003	5,80	11,20	8,85	8,90	9,40	0,85	0,72	0,10	7.178
2004	5,70	11,20	9,23	9,30	9,30	0,68	0,46	0,07	10.152
2005	6,00	11,20	8,93	9,10	9,50	0,87	0,76	0,10	7.884
2006	5,80	11,40	9,11	9,20	9,50	0,74	0,55	0,08	12.393
2007	3,10	16,60	9,16	9,30	9,50	0,72	0,52	0,08	15.417
2008	6,20	17,20	9,26	9,30	9,30	0,65	0,42	0,07	11.133
2009	6,10	11,50	9,63	9,70	9,30	0,72	0,52	0,08	6.822
2010	5,40	11,50	9,89	10,10	10,40	0,74	0,55	0,07	3.725
2011	5,80	14,00	9,13	9,10	8,80	0,94	0,88	0,10	7.304
2012	6,00	11,40	9,08	9,00	8,90	0,73	0,53	0,08	7.599
2013	5,80	11,20	9,16	9,10	9,00	0,86	0,74	0,09	7.386
2014	6,20	11,20	9,08	9,10	9,40	0,69	0,48	0,08	6.558

Tabla 6: Estimación interanual de estadísticos descriptivos y de dispersión del ancho cefalotorácico de las hembras de *O. trimaculatus* desde el año 2002 hasta el año 2014. Encabezado: Max(máximo), Min(mínimo), DS (desviación estándar), CV (coeficiente de variación, N(número de individuos).

Año	Min(cm)	Max(cm)	Promedio(cm)	Mediana(cm)	Moda(cm)	DS	Varianza	CV	N
2002	6,10	12,00	8,07	8,00	7,40	0,81	0,66	0,10	1.969
2003	5,00	15,70	8,13	8,30	8,30	0,84	0,71	0,10	3.463
2004	5,90	10,80	7,97	7,90	7,40	0,78	0,61	0,10	3.951
2005	5,90	10,40	8,02	8,00	8,00	0,70	0,48	0,09	5.700
2006	5,80	10,30	8,07	8,10	8,30	0,77	0,59	0,10	4.567
2007	8,00	10,60	8,08	8,10	8,30	0,82	0,68	0,10	2.614
2008	5,80	16,30	8,05	8,10	8,40	0,80	0,65	0,10	2.814
2009	5,50	10,10	8,14	8,20	8,30	0,69	0,48	0,08	1.830
2010	6,00	10,30	8,48	8,50	8,30	0,64	0,41	0,08	1.831
2011	5,80	13,10	8,53	8,60	9,00	0,79	0,63	0,09	3.654
2012	5,30	10,40	8,16	8,10	8,20	0,83	0,69	0,10	3.286
2013	5,50	10,50	8,31	8,30	8,20	0,73	0,53	0,09	3.950
2014	5,70	10,30	8,23	8,20	8,40	0,73	0,53	0,09	3.110

Tabla 7: Parámetros estimados de los machos de *O. trimaculatus* desde los años 2002 hasta el 2014, A continuación, el significado del encabezado: Ancho asintótico (AC^∞); Constante de crecimiento de von Bertalanffy (K); tiempo de inicio de crecimiento (ts); Amplitud estacional C; tiempo de desove (ta); Índice de crecimiento (\emptyset); Índice de ajuste (Rnmax).

Año	AC^∞ (cm)	K	ta	C	ts	\emptyset	Rnmax
2002	10,799	0,695	0,086	0,947	0,278	1,909	0,999
2003	10,364	0,646	0,772	0,785	0,021	1,841	0,979
2004	10,204	0,685	0,451	0,497	0,379	1,853	0,994
2005	9,783	0,533	0,599	0,456	0,526	1,708	0,968
2006	10,610	0,676	0,565	0,120	0,124	1,881	0,956
2007	10,689	0,519	0,304	0,464	0,521	1,773	0,999
2008	10,406	0,567	0,441	0,838	0,528	1,788	0,988
2009	10,804	0,690	0,885	0,459	0,856	1,906	0,995
2010	11,272	0,316	0,682	0,977	0,273	1,604	0,998
2011	10,545	0,494	0,456	0,664	0,804	1,739	0,993
2012	9,416	0,585	0,024	0,337	0,979	1,715	0,976
2013	10,040	0,685	0,871	0,792	0,224	1,839	0,968
2014	9,761	0,672	0,981	0,957	0,940	1,806	0,978

Tabla 8: Parámetros estimados de los hembras de *O. trimaculatus* desde los años 2002 hasta el 2014, A continuación el significado del encabezado: Ancho asintótico (AC^∞); Constante de crecimiento de von Bertalanffy (K); tiempo de inicio de crecimiento (ts); Amplitud estacional C; tiempo de desove (ta) ; Índice de crecimiento (\emptyset); Índice de ajuste (Rnmax).

Año	AC^∞ (cm)	K	Ta	C	ts	\emptyset	Rnmax
2002	9,91	0,60	0,55	0,89	0,21	1,77	0,995
2003	9,37	0,66	0,87	0,56	0,91	1,76	0,986
2004	10,40	0,60	0,57	0,64	0,87	1,81	0,996
2005	10,16	0,52	0,82	0,59	0,32	1,73	0,968
2006	9,94	0,40	0,94	0,31	0,82	1,60	0,969
2007	10,18	0,64	0,66	0,86	0,49	1,82	0,948
2008	9,13	0,49	0,09	0,68	0,33	1,61	0,974
2009	8,54	0,66	0,41	0,92	0,04	1,68	0,941
2010	9,70	0,57	0,06	0,70	0,11	1,73	0,991
2011	9,24	0,52	0,58	0,79	0,98	1,65	0,936
2012	9,37	0,34	0,81	0,94	0,82	1,47	0,963
2013	9,39	0,57	0,28	0,46	0,32	1,70	0,985
2014	9,93	0,58	0,15	0,58	0,06	1,75	0,999

Tabla 9: Correlaciones entre los lags del ancho asintótico y desembarques tanto para machos como para hembras de *O. trimaculatus*. Encabezado: r (estadístico de Pearson), Lag 0 indica que es una correlación en el mismo año (sin desfase). * P <0.05

Lag	Macho		Hembra	
	r	p-value	r	p-value
0	-0,407	0,167	-0,144	0,640
1	0,172	0,594	-0,301	0,341
2	0,209	0,537	-0,722	0,012*
3	0,069	0,849	-0,776	0,008*
4	0,177	0,649	-0,373	0,323
5	0,660	0,075	-0,335	0,418
6	-0,031	0,947	0,058	0,902

Tabla 10: Correlaciones entre los *lags* del ancho asintótico y la temperatura superficial del mar tanto para machos como para hembras de *O. trimaculatus*. Encabezado: r (estadístico de Pearson), Lag 0 indica que no es una correlación en el mismo año (sin desfase). * P <0.05

Lag	Macho		Hembra	
	r	p-value	r	p-value
0	-0,3217	0,2838	-0,2296	0,4505
1	0,0655	0,8396	-0,1190	0,7126
2	0,7704	0,0055*	0,2304	0,4955
3	0,0004	0,9991	-0,4522	0,1894
4	-0,3898	0,2997	-0,2852	0,4570
5	0,1288	0,7612	0,4249	0,2940
6	-0,3217	0,2838	-0,2296	0,4505

Tabla 11: Correlaciones entre los *lags* del ancho asintótico y la clorofila-a del mar tanto para machos como para hembras de *O. trimaculatus*. Encabezado: r (estadístico de Pearson), Lag 0 indica que no es una correlación en el mismo año (sin desfase). * P <0.05

Lag	Macho		Hembra	
	r	P	r	p
0	-0,0503	0,870	0,538	0,0578
1	0,0933	0,773	0,626	0,0293*
2	-0,376	0,253	-0,034	0,920
3	-0,187	0,604	0,422	0,223
4	0,288	0,452	0,314	0,410
5	0,243	0,560	-0,423	0,295
6	-0,0503	0,870	0,538	0,057